



Flerträdshantering i slutavverkning

Multi-tree handling in final-felling

Carl Johansson

Arbetsrapport 392 2013
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Dan Bergström



Flerträdshantering i slutavverkning

Multi-tree handling in final-felling

Carl Johansson

Examensarbete i skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp

Jägmästarprogrammet

EX0707

Handledare: Dan Bergström, SLU, Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi

Examinator: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi

Förord

Denna studie är utförd på uppdrag av Holmen Skog genom Maria Olsson, verksamhetsutvecklare inom drivning. Jag vill skänka ett tack för att jag fick möjligheten att genomföra arbetet inom detta intressanta område. Tack också till Ambjörn Forslund som bistått mig som biträdande kontaktperson på företaget.

Stort tack till Dan Bergström som varit min ständige följeslagare i form av handledare för arbetet. Arbetet skulle vara ogjort utan dina idéer och din stöttning. Andra personer som har hjälpt mig under vägen är: Robert Johansson, produktionstekniker Holmen Skog; Anders Sandberg, säljare John Deere; Torbjörn Nyberg, metodinstruktör Skogforsk; Matilda Vikberg, korrekturläsare och fästmö.

Umeå 2013-03-07

Carl Johansson

Sammanfattning

Flerträdshantering har sedan länge främst förekommit i gallringar och vid skörd av biobränslesortiment. På senare år har svenska och kanadensiska forskare även gjort tidsstudier på tekniken i slutavverkningar där resultaten visar på en ökning av produktiviteten. Inom Holmen Skog har tekniken använts i slutavverkningar under ett par års tid men kunskap om vilken typ av skog den bör användas i och potentialen är okänd. Syftet med denna studie var att kvantifiera potentialen för flerträdshantering i slutavverkning inom Holmen Skog och beskriva de skogliga förutsättningarna. Det gjordes även en skattning av produktivitetsökningen och en maskinkostnadskalkyl för flerträdshanterings effekter på skördarens drivningskostnad.

Studien utfördes enligt följande: Stamnotor extraherades från slutavverkade trakter där flerträdshantering användes. En medelberäkning och en regressionsanalys utfördes på stamnotorna för beskrivning av förutsättningarna. De statistiska analyserna tillämpades på historiska slutavverkningsdata för varje distrikt. En litteraturstudie utgjorde grunden för den skattningen av produktivitetsökningen som tillämpades på en traktbank. En maskinkostnadskalkyl för olika medelstammar utfördes, med och utan flerträdshanterande utrustning. Slutligen beräknades totala potentialen för flerträdshantering i slutavverkning genom en sammanvägning av den tekniska-, produktivitets- och ekonomiska potentialen.

Resultatet visar att den största sammanvägda potentialen finns i Örnsköldsviks region och särskilt i Lycksele distrikt där en möjlig besparing uppgår till 8,3 % av avverkningskostnader årligen. Flerträdshanteringen används främst på gran upp till en brösthöjdsdiameter på 12 cm där stamtätheten kan variera mycket varför stammarnas spatiala placering spelar en stor roll. Vid dessa förutsättningar kan skördaren sänka drivningskostnaden med ca 10 % och ökar produktiviteten med 14 % i bestånd med medelstam 0,16 m³fub.

Nyckelord: potential, drivningskostnad, produktivitet, Holmen Skog

Abstract

Multi-stem harvesting is mainly used in thinnings where biofuel is harvested. In recent years, Swedish and Canadian researchers also conducted time studies with multi-tree technology in final felling. The results show a significant increase in productivity. At the forest company Holmen Skog, the technology has been used in the final felling for a couple of years, but the knowledge of in which stands it should be used and the potential are still unknown. The purpose of this study was to determine the potential for multi-tree harvesting within Holmen Skog and describe the forest conditions for where it should be used. An estimate of the productivity for each district was made and a machine cost calculation for multi-tree effects on the harvester driving cost.

The study was performed as follows: Stem notes were extracted from final felling tracts where multi-tree technology had been used. An average calculation and a regression analysis were performed on the stem notes for a description of the conditions. The statistical analyses were applied on historical felling data for each district at Holmen Skog. From literature studies the estimation of productivity was applied on a tract bank. A machine cost calculation was made on different mean stem volumes harvested, with and without the multi-tree harvesting. Finally, the total potential was calculated for multi-stem technology in final felling through a combination of technical, economic and productivity potential.

The result shows that the largest potential is in Örnköldsvik region and especially in Lycksele district with possible annual savings on 8.3 % of the cutting costs. Multi-tree technology is primarily used on spruce up to 12 cm diameter at breast height where stem density can vary greatly (therefore the stem spatial positioning is important). In these forest conditions the harvester reduces its logging costs by about 10% and increases productivity by 14% in stocks with mean stem volume on 0.16 m³fub.

Key words: Potential, logging cost, productivity, Holmen Skog

Innehållsförteckning

Bakgrund	8
Syfte.....	12
Material och Metod	13
Studiedesign	13
Referensavverkningar.....	13
Stamandelsberäkning.....	15
Historiska slutavverkningar.....	18
Produktivitetsskattning	19
Maskinkostnadskalkyl	20
Potentialen	22
Resultat	24
Förutsättningar - modeller	24
Stamandelsberäkningen	26
Skattning av produktivitetsökningen.....	27
Kostnader.....	28
Potentialen	29
Diskussion	32
Potentialen	32
Skogliga förutsättningar	34
Rekommendationer.....	35
Nya studier.....	36
Slutsatser.....	36
Referenslista	37
Bilagor	39

Bakgrund

Produktivitetsutvecklingen i slutavverkning har avstannat i det svenska skogsbruket. Från att ha ökat konstant varje år sedan 1960-talet till att nå ett tak på 25 m³sk (stamved inkl topp och bark) per timme 2009, har nu den avtagande teknikutvecklingen gjort att produktiviteten sjunkit något efter 2010 (Brunberg & Thor, 2010). År 2011 slutavverkades 200 000 ha och gallrades 433 000 ha skogsmark i Sverige (Skogsstyrelsen, 2011). Minskade marginaler i lönsamheten som en följd av ökad konkurrens och stigande priser på skogsråvara för industrierna gör att skogsföretagen alltid strävar efter förbättrad produktivitet i skogsbruket. Att effektivisera och sänka driftskostnader gynnar såväl skogsägaren, maskinentreprenören och industrierna men även miljön och landet Sverige (Skogsindustrierna, 2012).

Att använda flerträdshanterande skördare i avverkningar kan ge ökad produktivitet jämfört med den konventionella enträdshanteringen. Denna teknik är inget nytt inom det svenska skogsbruket. Redan i slutet av 80-talet började flerträdshantering diskuteras som alternativ till den konventionella enträdshanteringen. Det huvudsakliga skälet till den nya tekniken var främst de kostnadsbesparingar som kunde göras tack vare att tiden för upparbetning och kranrörelser kunde reduceras (Brunberg, 1989; Brunberg *et al.* 1990). Användningen av flerträdshantering är främst förekommande vid förstagallring och skörd av skogsbränsle (Bergqvist, 2003). Vid detta användningsområde för flerträdshanteringen är ett flertal studier utförda som bland annat beskriver samband mellan produktivitet och bestandsvariabler (Bergqvist, 2007; Iwarsson & Belbo, 2009; Brunberg, 2010).

För att öka produktiviteten i skogsavverkningar finns fyra huvudsakliga tillvägagångssätt (Johansson & Gullberg, 2002).

- Öka hastigheten i arbetsmomenten ex. kaptiden
- Hantera flera träd åt gången ex. fälla två närstående träd samtidigt
- Hantera flera träd i samma krancykel (ackumulering)
- Använd en arbetsmetod som möjliggör små och enkla kranrörelser.

Flerträdshantering i slutavverkning

För att möjliggöra flerträdshantering i slutavverkning krävs två enkla ingrepp i skördarens aggregat. På aggregatet monteras extra fångstarmar (så kallade ackumulerande armar) nedanför rotorkransen som används för att hålla fast avsågade stammar medan aggregatet förflyttas till nästa träd (Figur 1). På aggregatet monteras också ny hydraulik till de ackumulerande armarna och en extra styrdator för att möjliggöra styrning av armarna inifrån maskinhytten. Mjukvaran för styrning av griparmarna finns installerad i basmaskinens huvuddator vid tillverkningen. Kostnaden för utrustningen uppges vara ca 80 000 kr vid eftermontering och ca 55 000 kr om montering sker vid nyleverans av aggregatet (Anders Sandberg, pers. komm., 2012).

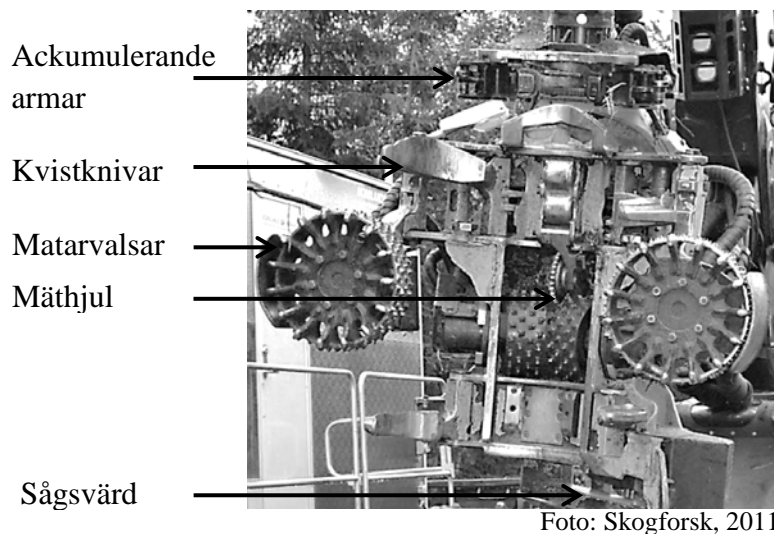


Foto: Skogforsk, 2011

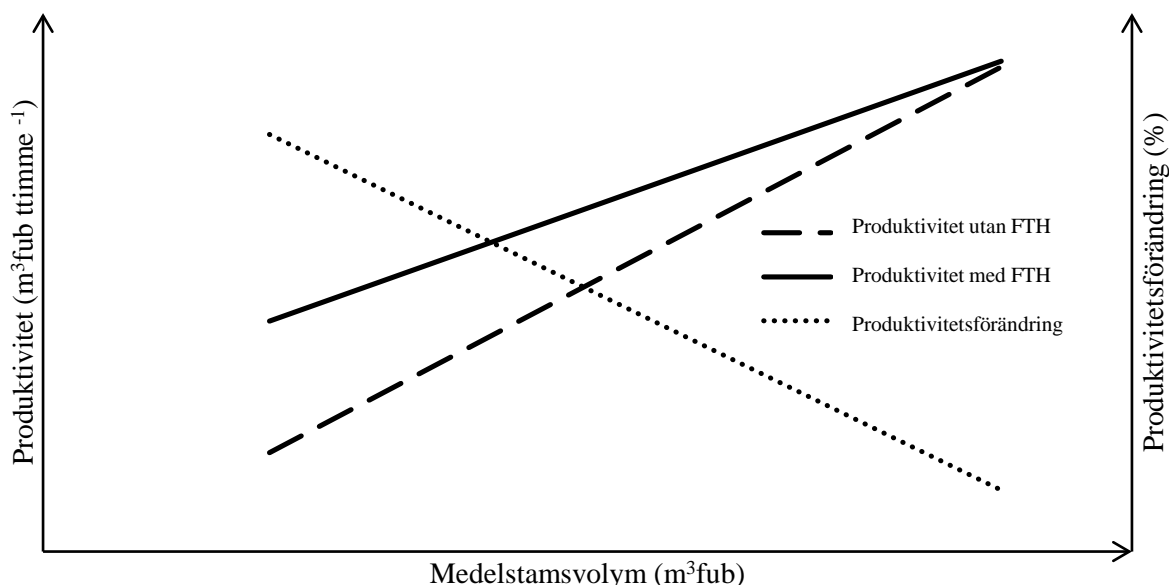
Figur 1. Illustration av ett skördaraggregat utrustad med ackumulerande armar.

Figure 1. Illustration of a harvester head equipped with accumulating arms.

Fem skandinaviska (Thelin, 1990; Lilleberg, 1994; Brunberg & Lundström, 2011; 2012a; 2012b) och tre kanadensiska studier (Gingras, 1999; 2002; 2004) har utförts där produktiviteten har undersökts i slutavverkning med flerträdshantering. I studierna mättes produktiviteten som m^3 fast under bark (fub) per timme mellan att hantera en stam i taget jämfört med två eller flera. Thelin (1990) utförde den första kända tidsstudien med avseende på flerträdshantering med engreppsskördare i slutavverkning. Studieresultaten visade på en ökning av produktiviteten med 6 % vid en medelstamsvolym på $0,146 \text{ m}^3 \text{ fub}$. Maskinens utrustning lämpade sig dåligt för flerträdshantering varför en större ökning av produktiviteten kunde förväntas med en bättre anpassad utrustning. I norra Finland gjordes 1994 en tidsstudie på flerträdshantering med engreppsskördare (Lilleberg, 1994). Resultaten visade på en ökning av produktiviteten med 14 % vid en avverkad medelstamsvolym på $0,100 \text{ m}^3 \text{ fub}$. I Sverige har det de senaste åren utförts tre tidsstudier för två stora svenska skogsbolag. Tidsåtgången för flerträdshanterande avverkning mättes och jämfördes, efter en tidsnormering, med en enträdshanterad avverkning. Resultaten indikerade en produktivitetsökning med 16 % men där potential finns till mer förbättring då skogens sammansättning (enligt skördarföraren) inte var särskilt lämplig för flerträdshantering (Brunberg & Lundström, 2011). Försökets uppmätta medelstamsvolym låg på $0,116 \text{ m}^3 \text{ fub}$ men varierade mellan $0,07 - 0,33 \text{ m}^3 \text{ fub}$ där 62 % av trädslagsblandningen var gran med medelstamsvolym $0,09 \text{ m}^3 \text{ fub}$. Vid en studie med högre medelstamsvolym ($0,22 \text{ m}^3 \text{ fub}$) blev ökningen av produktiviteten lägre, endast 4 % (Brunberg & Lundström, 2012a). I denna studie, där medelstamsvolymen var relativt hög, flerträdshanterades knappt 8 % av stammarna vilket författarna anås vara på gränsen för vad flerträdshanteringen bör användas i. I en tredje studie från Brunberg & Lundström (2012b) ökade produktiviteten med 15 – 16 %. I detta bestånd var trädssammansättningen tät och klen, med en medelstamsvolym mellan $0,13 - 0,15 \text{ m}^3 \text{ fub}$.

I Kanada gjordes försök på slutet av 90-talet där konventionella skördaraggregat, avsedda för slutavverkning, byggdes om för ackumulering av stammar. Första studien indikerade på en ökning av produktiviteten med 9 – 26 % jämfört med enträdshantering (Gingras, 1999). Beståndets medelstamsvolym varierade mellan 0,052 – 0,122 m³fub. Under den andra studien med samma studieupplägg fann Gingras (2002) en ökning av produktiviteten på mellan 25 – 39 % i skog med en granandel på 14 – 65 %. Beståndet hade en uppmätt medelstamsvolym på 0,102 m³fub. Gingras (2004) bekräftar detta resultat med en studie som påvisar en ökning av produktiviteten med 21 – 33 %. Studiens uppmätta medelstamsvolym var 0,10 m³fub.

Sambandet mellan skördad medelstamsvolym och produktivetsförändringen, med och utan flerträdshantering (FTH) kan schematiskt beskrivas enligt Figur 2. Figuren är baserad utifrån resultaten från ovan nämnda studier (Gingras 1999; 2002; 2004; Brunberg och Lundström 2011; 2012a; 2012b).



Figur 2. Schematisk beskrivning av produktiviteten (m³fub timme⁻¹) och förändringen (%) som funktion av avverkad medelstamsvolym med och utan flerträdshantering (FTH) (baserad på Brunberg & Lundström, 2011; 2012a; 2012b; Gingras, 1999; 2002; 2004).

Figure 2. Schematic sketch of the productivity (m³fub hour⁻¹) and change (%) as a function of the harvested mean stem volume with and without multi-tree handling (FTH) (based on Brunberg & Lundström, 2011; 2012a; 2012b; Gingras, 1999; 2002; 2004).

Gingras (2002) fann att arbetstiden per krancykel i medeltal var längre vid flerträdshantering. Med en andel på 30 – 40 % av flerträdshanterade krancykler så minskade däremot tidsåtgången per träd med 39 %. Detta berodde främst på minskad tidsåtgång för de enskilda momenten: kran ut och fällning, kran in och kvistning-kapning (Thelin, 1990). Gingras (1999; 2002) visade även att kvaliteten på apteringen vid de flerträdshanterande stockarna befann sig inom 10 cm noggrannhet från kapad stocklängd och godkänd kvistning i mer än 90 % av fallen. Det kan däremot uppstå problem vid hantering och kvistning om diametern på första och andra stammen skiljer mer än 4 cm (Gingras, 2002).

Förbättringar i form av minskad bränsleförbrukning kan även göras med flerträdshantering i slutavverkning. Vid Brunberg och Lundströms (2011; 2012b) studier uppmättes en minskad bränsleförbrukning på 14 – 17 % ($1 \text{ m}^3 \text{fub}^{-1}$), vid en lika stor ökning i produktivitet. I studier med högre medelstamsvolym ($0,22 \text{ m}^3 \text{fub}$) indikerar däremot resultaten på att bränsleförbrukningen ökar vid flerträdshantering (Brunberg & Lundström, 2012a). Brunberg och Lundström (2012b) visar att om en förröjning utförs kan skördarens produktivitet öka med ytterligare 5 %.

Den ekonomiska förtjänsten med flerträdshantering vid en årlig avverkningsvolym på $60\,000 \text{ m}^3 \text{fub}$ blir enligt Brunberg (2012) 156 000 kr. Då beräknas den årliga ökningen av produktiviteten vara 5 % samt en ökning av servicekostnaden med 14 000 kr per år. Bränslebesparingen beräknades till 18 720 kr per år vilket tillsammans resulterade i att avbetalningstiden för investeringen (80 000 kr) av flerträdshanterande armar beräknades till ett halvt år (6 månader). Brunberg (2012) drar slutsatsen att utrusta skördaren med flerträdshanteringsfunktion är en investering som ger god avkastning.

Förutsättningar för flerträdshantering i slutavverkning

Beståndets karaktär spelar stor roll för hur väl utfallet av flerträdshantering blir. I tvåskiktad skog lämpar sig metoden väl då den främst inriktar sig mot de undertryckta och klenare stammarna (Lilleberg, 1994). För att bibehålla hög kvalitet vid kvistning bör det övervägas vilken årstid flerträdshanteringen ska tillämpas (Gingras, 1999; Lilleberg, 1994). Exempelvis så är kvistarna frusna och sköra på vintern vilket gör de mer lämpliga för flerträdshantering. Under savningsperioden får kvistarna en segare karaktär och kvistningskvaliteten går ner. Andelen björk minskar möjligheterna med flerträdshantering på grund av sin krokighet (Lilleberg, 1994). Diametergränsen för vilka träd som flerträdshanteras i slutavverkning skiljer sig mellan de kanadensiska och skandinaviska studierna. Kanadensiska studier visar att gränsen går vid en brösthöjdsdiameter (dbh) mellan 20-25 cm (Gingras, 2002; 2004). Grövre stammar blir svåra att hantera och produktiviteten sjunker. Tidsstudierna som är gjorda i Skandinavien visar att de träd som flerträdshanteras inte bör vara större än ca 18 cm dbh (Brunberg & Lundström, 2012a; Thelin 1990). Huvudandelen av stammarna som flerträdshanterades hade i medeltal en dbh på 13 cm (Brunberg & Lundström, 2012a).

Företaget Holmen

Detta arbete har utförts på uppdrag av Holmen Skog. Holmen Skog ingår i skogsindustrikoncernen Holmen som tillverkar kartong, trävaror och tryckpapper samt har affärsområden inom skogsbruk och energi. Företaget har ca 4000 anställda och omsätter ca 18 miljarder kr.

Holmen Skog är uppdelad i tre större regioner med totalt 18 distrikt. Storlek och antal distrikt per region skiljer sig från norr till söder.

1. Region Örnsköldsvik (där huvudkontoret ligger)
2. Region Iggesund
3. Region Norrköping

Holmen skog sköter och förvaltar företagets egna skogsinnehav men utför även merparten av avverkning- och skogsvårdsuppgifterna åt privata skogsägare inom sitt geografiska verksamhetsområde. Holmen Skog har 428 anställda och anskaffar ca 11 000 000 m³fub årligen till egna industrier och kunder. Det egna skogsinnehavet uppgår till 1 265 100 hektar (ha) med ett virkesförråd på 118 312 000 m³fub. Slutavverkning på egen skog uppgår årligen till 2 041 000 m³fub (Holmen, 2012).

Motivering till uppdraget

Även om det finns en väl kartlagd bild av vilka bestånd som passar för flerträdshantering i gallring så är kunskapsluckan fortsatt stor vid flerträdshantering i slutavverkning. Slutavverkning skiljer sig i flera avseenden mot gallring, både när det gäller beståndets utseende men även för användning av den flerträdshanterande funktionen. Under ett par års tid har ett fåtal av Holmen Skogs maskinentreprenörer använt flerträdshanterande skördare i slutavverkningen. Maskinlagen har erfarenhet inom flerträdshantering men kunskapen är inte befäst inom företaget. Potentialen för denna typ av avverkning inom Holmen Skog är okänd. Genom att kartlägga vilken typ av skog som är mest lämplig för flerträdshantering i slutavverkning kan Holmen Skog skapa ett underlag för beslut att förändra antalet slutavverkningsskördare utrustade med flerträdshantering och därmed sänka sina avverkningskostnader.

Syfte.

Syftet med studien var att:

1. Beskriva de skogliga förutsättningarna för att kunna nyttja flerträdshantering i slutavverkning.
2. Utföra en kostnadskalkyl och en skattning av produktivitetsökningen för flerträdshantering i slutavverkning inom Holmen Skog.
3. Ta reda på potentialen för flerträdshantering i slutavverkning för Holmen Skogs olika distrikt.

Material och Metod

Studiedesign

Studien utfördes i sex steg:

1. Från Holmen Skog insamlades skördardata från 13 slutavverkningstrakter (referensavverkningar). Dessa var avverkade med fem olika skördare utrustade med flerträdshanterande aggregat (extrautrustade med ackumuleringstillsats). Insamlad data användes för att beskriva diameterfördelningen på traktnivå för stammar som blivit en- respektive flerträdshanterade.
2. En aritmetisk medelberäkning gjordes för andelen flerträdshanterade träd per diameterklass för varje referensavverkning. En regressionsanalys utfördes med andelen flerträdshanterade stammar som responsvariabel och diametern samt andelen klena stammar som förklarande variabler.
3. De statistiska beräkningarna tillämpades på diameterfördelningen för historiska slutavverkningsdata från Holmen Skogs 18 distrikt. Resultatet av tillämpningen visade andelen stammar som var möjliga att flerträdshantera.
4. En litteraturstudie utfördes och låg till grund för en skattning av produktivitetsökningen för flerträdshantering i slutavverkning inom Holmen Skog.
5. En maskinkostnadskalkylering utfördes på en fiktiv entreprenör inför investeringen av en ny skördare för slutavverkning. Skördarens drivningskostnader ($\text{kr m}^3\text{fub}^{-1}$) utgick från tre olika scenarion med specificerade medelstamsvolym, med eller utan flerträdshanterande utrustning.
6. Slutligen beräknades potentialen för flerträdshantering i slutavverkning genom en sammanvägning av den tekniska potentialen (punkt 3), potentialen för ökad produktivitet (punkt 4) och den ekonomiska potentialen (punkt 5). Den beräknade potentialen jämfördes mellan distrikten för bedömning om potentialen var hög eller låg.

Referensavverkningar

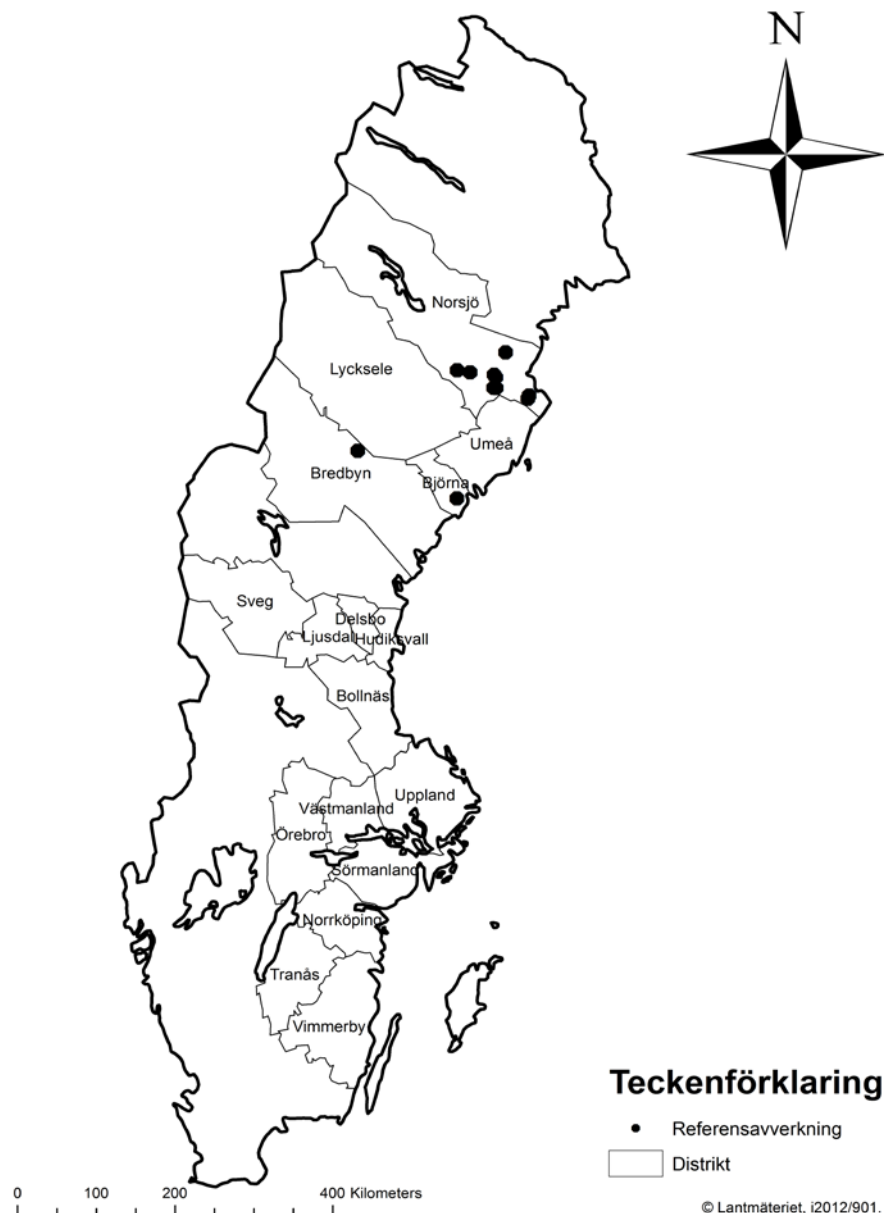
Om PRINS

Med hjälp av Skogsnäringens IT-företag (SDC) och programvaran PRINS kan skördarens produktion följas upp i efterhand. Information om skördade volymer, stockinformation (träslag, diameter) och kontroll av aptering mot beställning (målvolymredovisning) kan erhållas retroaktivt upp till 18 månader. Huggningsform är inte en obligatorisk uppgift för skördarföraren att rapportera (SDC, 2012).

Datainsamling

Via PRINS extraherades stamnotor i PRI-format med information per dbh-klass på 13 genomförda avverkningar. Varje klass utgjorde ett dbh-intervall om 2 cm och beskrev antalet avverkade stammar, avverkad volym netto (m^3fub), avverkad volym brutto (m^3fub), stamfelsesved (m^3fub) och medelstamsvolym (m^3fub). Extraherade stamnotor sparades i Excel-format.

13 trakter (referensavverkningar) fördelat på 5 skördare utgjorde indata för vilka de statistiska beräkningarna baserades på. Två stamnotor (se tidigare stycke) extraherades via PRINS för varje referensavverkning. Första stamnotan beskrev diameterfördelningen för det behandlingssätt som stammarna avverkades med: enträds- och flerträdshantering. Andra stamnotan beskrev de trädslag som hanterades för respektive behandlingssätt: tall, gran och löv. För information om arealstorlek för respektive referensavverkning tillfrågades produktionsledaren för det aktuella distriktet. Arealen motsvarade den areal som skattades av fältplaneraren innan avverkning. Referensavverkningarnas lokalisering illustreras i Figur 3.



Figur 3. Referensavverkningarnas lokalisering.
Figure 3. Location of reference cutting sites.

Samtliga skördare var extrautrustade med ackumulerande armar av varierande modell på basmaskin och aggregat (Tabell 1). Det var okänt hur lång erfarenhet skördarförarna hade inom flerträdshantering eller om de erhållit utbildning inom området.

Tabell 1. Beskrivning över modell på basmaskin, aggregat samt hur många referenstrakter varje maskin har avverkat, vilket år flerträdshantering installerades samt hemdistrikt för respektive skördare

Table 1. Description of the model on the base machine, attachment, and how many reference tracts each machine has been harvesting, the year the multi-stem equipment where installed and home districts for each harvester

Basmaskin	Aggregat	Basmaskinens årsmodell	Antal avverkade trakter	Installerad flerträdshantering
John Deere 1070	Timberjack 754	2009	5	2009
Valmet 901	Valmet 330	2010	2	2010
John Deere 1070	Waratah H412	2012	4	2012
Valmet 911	Valmet 360	2012	1	2012
Valmet 901	Valmet 340	2012	1	2012

Referensavverkningarna ägde rum under barmarksperioden 2012. Skördarna var under denna tid konverterade till att lagra stamdata i PRI-format. En lägsta andel flerträdshanterade stammar av totalt antal avverkade stammar bestämdes till 5 % med vägledning av Brunberg och Lundström (2012a). Avverkningar under denna andel antogs ej inneha de skogliga förutsättningar som möjliggjorde systematisk flerträdshantering.

Databearbetning

En traktbeskrivning skapades med avsikt att förklara metodens och beståndets karakteristika utifrån referensavverkningarnas stamnotor. Beskrivningen av respektive referensavverkning förklarade den totala diameter- och trädslagsfördelningen samt flerträdshanteringens verkliga utfall utifrån diameterfördelning, behandlade trädslag och medelstamsvolymer per trädslag. Arealen för referensavverkningarna användes för att beräkna stamtätheten (stammar ha⁻¹). Beskrivning för respektive referensavverkning presenteras i Bilaga 1.

Stamandelsberäkning

Antalet stammar som var möjliga att flerträdshantera beräknades med hjälp av två separata modeller; en medelberäkning och beräkning baserad på en regressionsfunktion. Stamandelsberäkningen utgjorde den tekniska potentialen för flerträdshantering i slutavverkning.

Medelberäkning

För varje diameterklass där flerträdshanterade stammar identifierades beräknades andelen flerträdsavverkade stammar av det totala antalet avverkade stammar. Detta gjordes för varje referensavverkning med följande formel.

$$f_i = \frac{x_i}{X_i} \quad (1)$$

Där f_i anger andelen flerträdshanterade stammar för diameterklass i . x_i anger antalet flerträdshanterade stammar i diameterklass i (avläses i stamnotan). X_i anger totalt antal avverkade stammar i diameterklass i (avläses i stamnotan).

För samtliga referenstrakter summerades andelen flerträdshanterade stammar för varje diameterklass och dividerades med antal diameterklasser där flerträdshantering förekom.

$$F_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i \quad (2)$$

F_i anger den flerträdshanterade andelen för diameterklass i i samtliga referensavverkningar och n anger antalet diameterklasser där flerträdshantering förekom.

Regressionsanalys

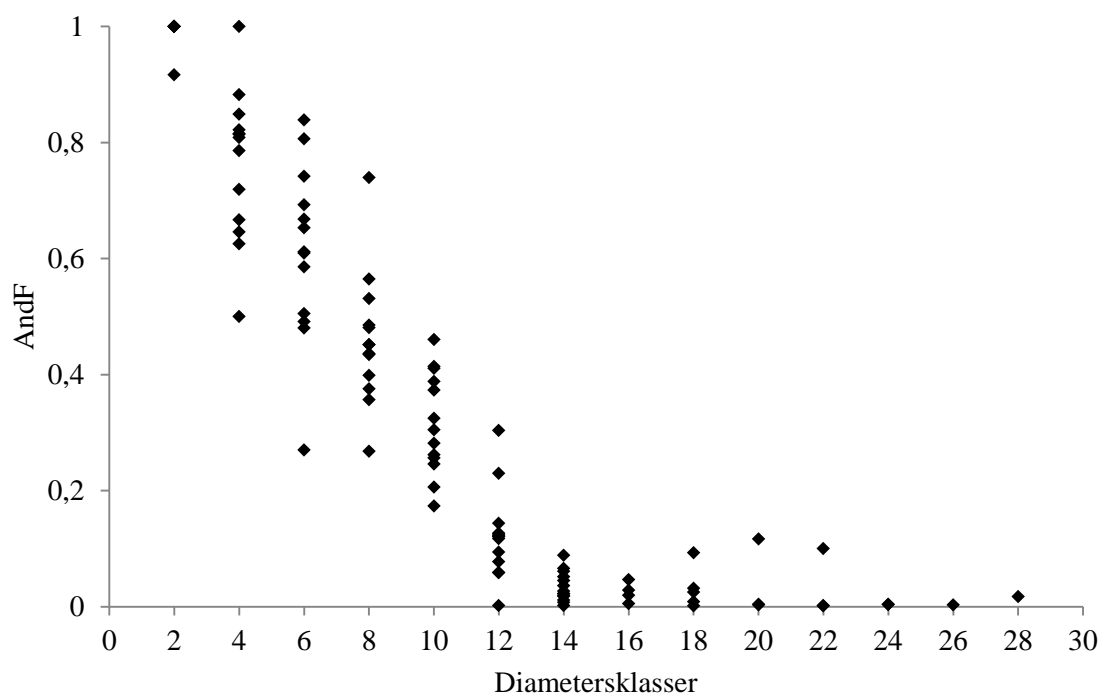
För indata till regressionsanalysen beskrevs andelen klenta stammar av en diameterfördelningsbeskrivning (d_i). Denna skapades utifrån stamnotan för respektive referensavverkning och beräknades med följande formel.

$$d_i = \frac{1}{X_r} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

Där d_i anger andel av totalt avverkade stammar som finns *upp* till diameterklass i , x_i anger antalet stammar avverkade i diameterklass i (avläses i stamnotan). X_r anger antalet avverkade stammar totalt för aktuell referensavverkning (r) (avläses i stamnotan) och n anger antalet diameterklasser *upp* till diameterklass i .

Kvoten d_i låg i varje referensavverkning mellan 0 och 1. För högsta diameterklass var alltid $d_i = 1$ då alla avverkade stammar befann sig *upp* till denna diameterklass.

En linjär regressionsanalys utfördes med datorprogrammet MiniTab Statistical Software 16.1.0 enligt en stegvis bakåtelimineringsprincip (Stepwise - Backward elimination). En funktion med responsvariabeln "kvoten flerträdshanterade stammar av totalt antal skördade stammar" ($AndF$) som funktion av stammens medeldiameter ($Diam$) och diameterfördelningsbeskrivning (d_i) modellerades. Eliminering av förklarande variabler avbröts när justerad R^2 (R^2 -adj) var tillfredställande ($>90\%$) och förklarande variabler returnerades med P-värden under kritisk signifikansnivå ($p \leq 0,05$). Figur 4 visar sambandet mellan andelen flerträdshanterade stammar av totalt antal avverkade stammar ($AndF$) gentemot diameterklasser som regressionsanalysen baserades på.



Figur 4. Illustrering av sambandet mellan andelen flerträdshanterade stammar (*AndF*) som funktion av diametersklasserna angett i cm ($n=109$).

Figure 4. Illustration of the relationship between the share of multitree- handled stems (*AndF*) as a function of the diameterclasses given in cm ($n=109$).

För anpassning till en linjär funktion gjordes följande antaganden.

- Maskinernas tekniska kapacitet gör det huvudsakligen tillämplbart med flerträdshantering på stammar upp till dbh 16 cm (Figur 4).
- Arbetsmetodiken för flerträdshantering i slutavverkning skiljer sig inte mellan gran- och talldominerade ståndorter eller mellan Holmen Skogs distrikt. (Torbjörn Nyberg, pers. komm. 2012)
- Flerträdshantering i slutavverkning används enbart på massavedsortimentet. (Torbjörn Nyberg, pers. komm. 2012)
- Andelen klena stammar inverkar på möjligheten att flerträdshantera. (Brunberg, 2012).

Följande förklarande variabler prövades enligt den stegvisa bakåtelimineringen.

- Diameterklass (i)
- Diameterklass i kvadrat (i^2)
- Diameterfördelningsbeskrivning för första dbh - klassen 2 – 4 cm (d_1)
- Diameterfördelningsbeskrivning för andra dbh – klassen 4 – 6 cm (d_2)
- Diameterfördelningsbeskrivning för tredje dbh - klassen 6 – 8 cm (d_3)
- Diameterfördelningsbeskrivning för fjärde dbh - klassen 8 – 10 cm (d_4)
- Diameterfördelningsbeskrivning för femte dbh - klassen 10 – 12 cm (d_5)
- Diameterfördelningsbeskrivning för sjätte dbh - klassen 12 – 14 cm (d_6)
- Diameterfördelningsbeskrivning för sjunde dbh - klassen 14 – 16 cm (d_7)

En korsvalidering utfördes av regressionsfunktionen för riskkontroll av överanpassning. Överanpassning innebär att regressionsfunktionen drar för långtgående slutsatser av indata och kan därmed sänka precisionen på funktionen. Risken för överanpassning ökar med större antal förklarande variabler (Holm, 2012). Måttet Q ger indikation på överanpassning och beräknades enligt formeln:

$$Q = \frac{PRESS}{SS_{res}} \quad (4)$$

$PRESS$ anger prediktionsfelens kvadratsumma och SS_{res} anger summan av residualerna i kvadrat.

Värden för $PRESS$ och SS_{res} returnerades av Minitab varpå Q värdet beräknades. Som gränsvärde för Q då överanpassning riskerades, skulle värdet på Q uppgå över 1,1600.

Historiska slutavverkningar

Tillämpningen av modellerna för stamandelsberäkningen utfördes på historiska slutavverkningar för Holmen Skogs 18 distrikt. Data om slutavverkningarna hämtades från två källor: PRINS och SPAR.

PRINS

En stamnota per distrikt extraherades via PRINS för beskrivning av fördelningen av stamantal i dbh-klasser för en bestämd tidsperiod. Tidsperioden för Örnsköldsviks- och Norrköpings region valdes till 12 månader (2011-06-01 - 2012-06-01). Tidsperioden för Iggesunds region valdes till endast 6 månader (2011-06-01 - 2011-12-01) på grund av den storm som inträffade julhelgen 2011. En fördubbling av stamantalet gjordes för varje dbh-klass vilket resulterade i stamantalet på årsbasis (12 månader). I Bilaga 2 redovisas kurvor för diameterspridningen inom Holmen skogs distrikt uppdelad i Örnsköldsviks -, Iggesunds - och Norrköpings region.

SPAR

SPAR är Holmen Skogs egna system för produktionsuppföljning och löneersättningssystem för kontrakterade entreprenörer (Maria Olsson, pers. komm., 2012). Från SPAR hämtades produktionsdata (slutavverkat stamantal) för Holmen skogs 18 distrikt med samma tidsintervall som stamnotorna i PRINS. En diameterfördelningsbeskrivning utifrån stamnotor i PRINS skapades och multiplicerades med det totala stamantalet per distrikt som angavs från data i SPAR. Summan av stamantalen i föregående diameterklasser subtraherades med denna produkt enligt följande formel:

$$s_i = D_{id}S_d - \sum_{i=2}^n s_{(i-1)} \quad (5)$$

Där s_i anger antalet avverkade stammar i diameterklass i enligt SPAR, D_{id} anger andelen stammar upp till diameter i i distrikt d , S_d anger avverkade stammar totalt i distrikt d enligt SPAR, n anger antalet diameterklasser i distriktet och $s_{(i-1)}$ anger antal stammar i föregående diameterklass ($i-1$).

Tillämpning

Diameterfördelningen, beskrivet av data från PRINS med stamantal enligt data från SPAR, användes som indata för medelberäkningen och regressionsfunktionen varpå två skattade värden för stamantal per dbh-klass och distrikt beräknades. Skattade värden för respektive metod och dbh-klass summerades och dividerades därefter med det totala antalet slutavverkade stammar i det aktuella distriktet.

Produktivitetsskattning

Utifrån tidigare studier på flerträdshantering i slutavverkning skattades ökningen av produktiviteten för alla Holmen Skogs distrikt. Studierna indelades i tre kategorier efter den medelstamsvolym som analyserades i respektive studie. Kategorierna namngavs efter produktivitetsökningen: *Hög*, *Mellan*, *Låg*. Volymmedelstamsintervallet för respektive kategori bestämdes till $< 0,11 \text{ m}^3\text{fub}$, $0,11 - 0,18 \text{ m}^3\text{fub}$ och $> 0,18 \text{ m}^3\text{fub}$. För varje kategori beräknades medelvärdet för ökningen av produktiviteten (Tabell 2).

Tabell 2. Kategorisering utifrån medelstamsvolym med respektive studier som utgjorde grunden för produktivitetsskattningen

Table 2. Categorization based on the meanstem of the respective studies for the productivity estimation

Kategori	Volymmedelstams-intervall (m^3fub)	Studie	Medelstamsvolym (m^3fub)	Produktivitetsökning (%)
<i>Hög</i>	< 0,11	Gingras, 1999	0,052	26
			0,085	17
		Gingras, 2002	0,098	25
			0,102	39
		Gingras, 2004	0,100	33
			0,100	21
<i>Mellan</i>	0,11 – 0,18	Brunberg & Lundström, 2011	0,116	16
			0,122	9,3
		Brunberg & Lundström, 2012b	0,130	17
			0,150	15
<i>Låg</i>	> 0,18	Brunberg & Lundström, 2012a	0,220	4,0

Indata för produktivitetsskattningen

Produktionsdata från 4689 trakter användes som indata för produktivitetsskattningen (Tabell 3). Trakterna slutavverkades under tidsperioden 2011-01-03 – 2012-10-31 av skördare från både Holmen Skogs egna lag och entreprenörer.

Tabell 3. Produktionsdata från slutavverkningar som utgjorde indata för produktivitetsskattningen

Table 3. Production data from final fellings which was input for the productivity estimation

Distrikt	Antal avverkade trakter	Skördad volym (m³fub)	Skördade stammar
Björna	339	568 458	2 483 805
Bredbyn	459	722 334	3 505 147
Lycksele	259	403 635	2 249 140
Norsjö	269	393 903	2 173 252
Umeå	569	672 737	2 879 565
Sveg	222	367 451	1 948 593
Ljusdal	225	288 288	934 092
Delsbo	280	545 289	1 718 642
Hudiksvall	339	319 421	1 108 241
Bollnäs	125	130 316	377 445
Uppland	326	397 570	1 052 684
Västmanland	104	98 925	256 825
Örebro	149	204 024	468 176
Sörmland	319	452 181	944 208
Norrköping	229	296 187	619 176
Tranås	228	215 156	447 999
Vimmerby	169	236 612	535 775
Egenskog	79	244 640	500 126
<i>Totalt/summa</i>	<i>4 689</i>	<i>6 557 127</i>	<i>24 202 891</i>

Medelstamsvolymen för varje trakt beräknades med följande formel:

$$M_t = \frac{V_t}{X_t} \quad (6)$$

Där M_t anger medelstamsvolymen (m³fub) för trakt t , V_t anger skördad volym (m³fub) för trakt t , X_t anger antal slutavverkade stammar för trakt t .

Beräknad medelstamsvolym (M_t) placerades i kategorierna: *Hög, Mellan, Låg*. För varje kategori räknades antalet trakter och sorterades utifrån det distrikt trakten var avverkad i. För varje enskilt distrikt beräknades en kvot för trakter inplacerade i enskild kategori jämfört med det totala antalet trakter i distriktet.

Maskinkostnadskalkyl

För indata i maskinkostnadskalkylen användes Holmen Skogs formulär för upphandling av maskinresurser: Maskinkalkylen 2012, i vilken grundläggande maskinkostnader beskrevs för service, inköp, förbrukning etc. Maskinkalkylen 2012 var framtagen för att ge grundläggande förutsättningar vid maskinupphandlingar och är baserad på tidigare uppgjorda inköpsavtal samt avtalade prisnivåer som avser olika storlekstyper på maskiner. För varje maskinstorlek bestod Maskinkalkylen 2012 utav en kombination mellan egna uppföljningar, erfarenhet och faktiska kostnader från Holmen Skogs egna maskinlag

(Maria Olsson, pers. komm., 2012). Robert Johansson, produktionstekniker på Holmen Skog bidrog med kompletterande data om utrustning och administrativa kostnader. Formuläret för kostnadskalkylen tillhandahölls av Lars Eliasson, forskare vid Skogforsk som vid skrivandets stund deltog i EU-projekt COST FP0902 där standardisering av beräkning för skogsbrukets maskinkostnader ingår (Forest Energy, 2012).

Indata för maskinkostnadskalkylen

Maskinkostnadskalkylen utfördes på en fiktiv entreprenör inför beslutet att investera i en ny slutavverkningskördare. Skördaren antogs vara en John Deere 1270 utrustad med ett aggregat av modell H745. Valet av maskin ansågs motsvara en passande modell för slutavverkningar och andragallring med förutsättningar för effektiv flerträdshantering. Kalkylen avsåg att undersöka hur olika kostnadsposter förändras med förändrad medelstamsvolym, med eller utan flerträdshanterande utrustning. Ökad servicekostnad och minskad bränsleförbrukning medtogs ej i kalkylen. Alla prisuppgifter beräknades exklusive moms och med en kalkylränta på 4 % (Tabell 4).

Tabell 4. Beskrivning av ingående variabler i maskinkostnadskalkylen

Table 4. Description of variables included in the machine cost calculation

Ingående variabler	Holmen Skogs Maskinkalkyl 2012	Robert Johansson (pers. komm, 2012)
<i>Fasta kostnader</i>		
Restvärde (%)	15	-
Ekonomisk livslängd (år)	6	-
Kalkylränta (%)	4	-
Försäkring (kr)	19253	-
Basmaskin (kr)	-	3 090 000
Aggregat (kr)	-	541 000
Akkumulerande armar (kr)	-	51 000
Däck (kr)	-	25 000
Band (kr)	-	35 000
<i>Rörliga kostnader</i>		
Bränslekostnad (kr tim ⁻¹)	9	-
Bränsleförbrukning (l tim ⁻¹)	-	12
Service (kr år ⁻¹)	390 432	-
Kedja/svärd (kr tim ⁻¹)	-	1,33
Mäthjul (kr tim ⁻¹)	-	4
Flyttkostnader (kr år ⁻¹)	-	78 000
<i>Personalkostnader</i>		
Lön (kr tim ⁻¹)	195	-
Sociala avgifter (%)	67	-
Administrativa kostnader (kr år ⁻¹)	-	11 000
<i>Marginalkostnad</i>		
Lönsamhetskrav* (%)	-	6
<i>Produktivitet</i>		
Arbetsdagar per år	224	-
Antal skift per dag	2	-
Schemalagda timmar per skift	7	-
Teknisk utnyttjandegrad (%)	83	-

*Krav på hur stor företagets lönsamhet bör vara. Bestäms vanligen av ägaren till företaget.

Kostnadsberäkning

Maskinkostnadskalkylen utfördes på tre scenarion (1, 2, 3) för varierande medelstam och med eller utan tillägg för flerträdshanterande utrustning. För varje scenario beräknades medelstam och produktivitet utifrån 96 konventionellt avverkade trakter. Trakterna var slutavverkade med fem av Holmen Skogs egna skördare under tidsperioden 2011-01-04 – 2012-09-27. Skördarna var av motsvarande maskin som användes i maskinkostnadskalkylen (JD 1270, H745 aggregat). De 96 trakterna delades in i tre kategorier (*Hög, Mellan, Låg*) med motsvarande medelstamsintervall och produktivitetsökning som Tabell 2. Ett medeltal för medelstam och stammar timme⁻¹ inom respektive kategori beräknades (Tabell 5). Dessa uppgifter var de enda som förändrades mellan de sex körningar som gjordes.

Tabell 5. Produktivetsdata för tre olika scenarion som användes i maskinkostnadskalkylen (FTH = flerträdshantering)

Table 5. Productivity data for three different scenarios used in machinecost calculations (FTH = multi-tree handling)

Scenario	Medelstam (m ³ fub)	Ökning av produktivitet (%)	Produktivitet utan FTH (träd timme ⁻¹)	Produktivitet med FTH (träd timme ⁻¹)
1	0,099	26,37	128,94	162,46
2	0,156	14,07	107,39	121,45
3	0,274	4,00	95,45	99,27

Potentialen

Slutligen beräknades tre potentialer för flerträdshantering i slutavverkning: teknisk-, produktivets- och ekonomisk potential.

Den tekniska potentialen

Den tekniska potentialen skattades per distrikt utifrån stamandelsberäkningen och uttrycktes enligt följande: andelen (%) av det totala antalet slutavverkade stammar som var möjliga att flerträdshantera. Ett medelvärde per distrikt beräknades från stamandelsberäkningen. Andelen flerträdshanterade stammar av totalt antal avverkade stammar, som observerades i referenstrakterna, varierade mellan 6,15 – 27,63 %. Detta intervall utgjorde en bedömningsskala för hur stor den tekniska potentialen var för flerträdshantering i Holmen Skogs distrikt.

Potentialen för ökad produktivitet

Potentialen för ökad produktivitet beräknades med indata från de 4689 trakter som var avverkade under samma period som stamandelsberäkningen (2011-06-01 – 2012-06-01). Kvarvarande 2550 trakter insortades i kategorierna: *Hög, Mellan, Låg* efter den enskilda traktens avverkade volymmedelstam (Tabell 2). Antalet trakter i varje kategori multiplicerades med arealen (ha) för en avverkad medeltrakt inom varje distrikt. Medeltrakten för varje distrikt beräknades för arealen (ha) med följande formel.

$$R_{ad} = \frac{A_d}{T_d} \quad (7)$$

Där R_{ad} anger medeltrakten för arealen (ha) i distrikt d , A_d anger totala slutavverkningsarealen i distrikt d , T_d anger antal slutavverkningsstrakter för distrikt d .

Potentialen för ökad produktivitet bedömdes utifrån hur stor andel av den totala slutavverkningsareal som framkom i de definierade kategorierna: *Hög, Mellan, Låg*. En stor andel i kategori *Hög* jämfört med den totala avverkade arealen indikerade en högre potential för ökad produktivitet.

Den ekonomiska potentialen

Drivningskostnaden för slutavverknings-skördaren ($\text{kr m}^3\text{fub}^{-1}$) i de tre olika scenarion implementerades på respektive distrikts slutavverkningsvolym. Distriktets (d) avverkade volymmedeltrakt beräknades enligt formel:

$$R_{vd} = \frac{V_d}{T_d} \quad (9)$$

Där R_{vd} anger medeltraktens volym i distrikt d , V_d anger skördad volym för distrikt d , T_d anger antalet slutavverkningsstrakter för distrikt d .

Slutavverkningsvolymen beräknades genom att volymen (m^3fub) för distriktets volymmedeltrakt multiplicerades med antal trakter insorterade i respektive kategori (*Hög, Mellan, Låg*). Slutavverkningsvolymen per kategori multiplicerades därefter med drivningskostnaden för skördaren, med och utan flerträdshantering utrustning. Differensen för drivningskostnaden med och utan flerträdshantering gav besparingen som divideras med drivningskostnaden utan flerträdshantering för att beräkna den ekonomiska potentialen. En stor andel besparing av drivningskostnaden utan flerträdshantering indikerade en högre potential och jämfördes distrikten emellan.

Resultat

Förutsättningar - modeller

Medelberäkning

Störst andel flerträdshanterade stammar (70,8 %) av totala antalet avverkade stammar identifieras i diameterklassen 4 cm (Tabell 6). Andelen flerträdshanterade stammar minskar vid stigande diameterklass fram till diameterklass 16 cm. Mellan diameterklass 18 – 36 cm varierar andelen flerträdshanterade stammar endast mellan 1,3 – 6,7 %. I den högsta diameterklassen där flerträdshanterade stammar påträffades (36 cm) var andelen flerträdshanterade stammar 3,0 %. I de fem lägsta diameterklasserna (4, 6, 8, 10, 12 cm) identifierades flerträdshanterade stammar i alla 13 referensavverkningar. Minimum och maximumandel för varje diameterklass redovisas i Tabell 6.

Tabell 6. Andelen (%) flerträdshanterade stammar av totala antalet avverkade stammar för respektive diameterklass (cm) i medeltal och minimum- och maximum andelar samt antalet referensavverkningar som andelen beräknas på

Table 6. The share (%) of multi - tree handling of the total number of handled stems for each diameter class (cm) given in average and minimum- and maximum share. The number of reference cuttings per diameter class of which the share was calculated on, is also given

Diameterklass (cm)	Andel stammar (%)			Antal ref. avv.
	Medel	Min	Max	
4	70,8	50,0	83,9	13
6	55,7	27,0	74,2	13
8	40,8	24,6	56,5	13
10	25,1	5,8	41,0	13
12	9,7	1,7	22,9	13
14	3,4	0,7	6,6	9
16	2,5	0,5	4,7	5
18	3,3	0,1	9,3	4
20	3,9	0,3	11,6	4
22	3,0	0,1	10,0	4
24	1,4	0,3	3,4	3
26	2,7	0,3	6,1	3
28	1,3	1,3	1,3	1
30	6,7	0,7	12,7	2
32	2,7	0,9	4,4	2
34	2,7	2,7	2,7	1
36	3,0	3,0	3,0	1

Regressionsfunktionen

I Tabell 7 visas utgångs- och slutläge i regressionsanalysen. Standardavvikelsen (STDV) ökade från 0,089239 i utgångsläget till 0,09028 i slutläget. Förklaringsgraden (R^2 -adj) sjönk med 0,2 % - enheter. Alla variabler i slutläget returneras som signifikanta med P-värde $<0,05$. Fyra variabler (D_1 , D_2 , D_3 , D_7) eliminerades från utgångsläget till slutläge.

Tabell 7. P-värden och koefficienter för diameter (D) och diameterfördelningsbeskrivning (d) samt P-värde, standardavvikelse (STDV) och förklaringsgrad (R^2 -adj) för hela funktionen i utgångs- och slutläge. Kryss (x) indikerar eliminerade variabler

Table 7. P-values and coefficients for the diameter (D) and the diameter distribution description (d) and P-value, standard deviation (STDV) and the coefficient of explanation (R^2 -adj) for start and final stage. Crosses (x) indicate eliminated variables

Variabel	Utgångsläge		Slutläge	
	Koefficient	P-värde	Koefficient	P-värde
Konstant	1,19770	0,000	1,34846	0,000
D (cm)	-0,11399	0,000	-0,11300	0,000
D^2 (cm)	0,00228	0,001	0,00224	0,001
d_1	1,976	0,067	x	-
d_2	-0,978	0,383	x	-
d_3	0,703	0,727	x	-
d_4	-3,781	0,164	-2,721	0,009
d_5	8,421	0,000	8,201	0,000
d_6	-5,569	0,125	-5,339	0,000
d_7	0,668	0,744	x	-
STDV	0,0892	-	0,0903	-
R^2 -adj (%)	91,6	-	91,4	-

Den slutliga utformningen på regressionsfunktionen blev:

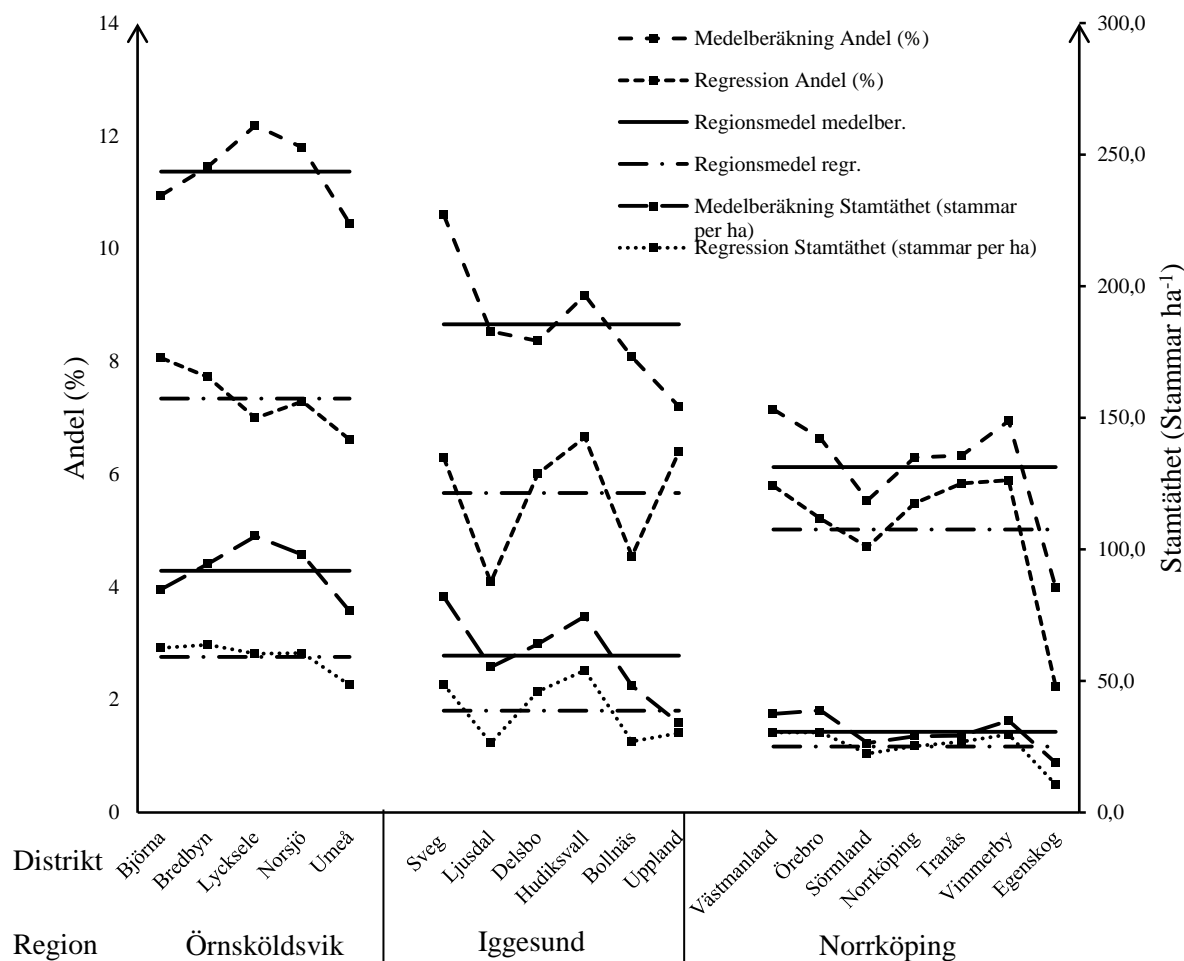
$$AndF = 1,35 - 0,113 D + 0,00224 D^2 - 2,72 d_4 + 8,20 d_5 - 5,34 d_6$$

Där $AndF$ anger andelen flerträdshanterade träd i diameterklass (D), D anger diameterklassens övre diametergräns och d_4 , d_5 , d_6 anger diameterfördelningsbeskrivningar för diameterklasser nr 4,5,6 (8-10, 10-12, 12-14 cm).

Korsvalideringen beräknas till 1,1518 vilket understiger gränsvärdet för överanpassning på 1,1600. Detta bevisar att funktionen ej riskerar överanpassning.

Stamandelsberäkningen

Tillämpningen av medelberäkningen och regressionsfunktionen på Holmen Skogs distrikt visar att den största flerträdshanterade stamandelen av totalt slutavverkade stammar (% och stammar ha⁻¹) finns inom distrikten i Örnsköldsviks region (Figur 5). Resultatet av beräkningarna med regressionsfunktionen visar att andelen flerträdshanterade stammar varierar mellan 6,62 – 8,07 % i dessa distrikt (Björna, Bredbyn, Lycksele, Norsjö, Umeå) och enligt medelberäkningen varierar andelen mellan 10,45 – 12,18 %. Uttryckt som stamtäthet (stammar ha⁻¹) varierar resultaten med regressionsfunktionen mellan 48,5 – 62,5 stammar ha⁻¹ och med medelberäkningen mellan 76,6 – 105,1 stammar ha⁻¹. Lägst flerträdshanterad stamandel och stamtäthet finns inom distrikten i Norrköpings region. Den flerträdshanterade stamandelen i dessa distrikt (Västmanland, Örebro, Sörmland, Norrköping, Tranås, Vimmerby, Egen skog) varierar för regressionsfunktionen mellan 2,23 – 5,79 %. I medelberäkningen varierar den mellan 3,99 – 7,15 % och för stamtätheten mellan 18,9 – 38,9 stammar ha⁻¹. Beräkningarna med regressionsfunktionen visar på en variation på stamtätheten mellan 10,6 – 30,5 stammar ha⁻¹ i Norrköpings region.



Figur 5. Stamandelen (%) och stamtäthet (stammar ha⁻¹) baserat på regressionsfunktionen och medelberäkningen. Horisontal linje indikerar ett medelvärde för varje region.

Figure 5. Stem share (%) and stem density (stems ha⁻¹) based on the regression function and the mean calculation. Horizontal line indicates the mean value for each region.

Skattning av produktivetsökningen

Kategoriseringen av de 4689 trakterna visar att för alla distrikt (förutom Lycksele) återfinns den största andelen av trakterna (48,3 – 100 %) i kategori *Låg* (4 % ökning av produktiviteten) (Tabell 8). I Lycksele distrikt är andelen i kategori *Låg* 44,4%. En högre andel (23,2 – 47,5 %) i kategori *Mellan* (14 % ökning av produktiviteten) förekommer i nordligare distrikt (Björna, Bredbyn, Lycksele, Norsjö, Umeå, Sveg). Övriga distrikt har en andel på under 7,1 % i denna kategori. Lägst andel av de 4689 trakterna återfinns i kategori *Hög* (26 % ökning av produktiviteten). I denna kategori är det distrikt Lycksele, Norsjö och Sveg som indikerar högst andelar (8,1; 10,0; 6,3 %).

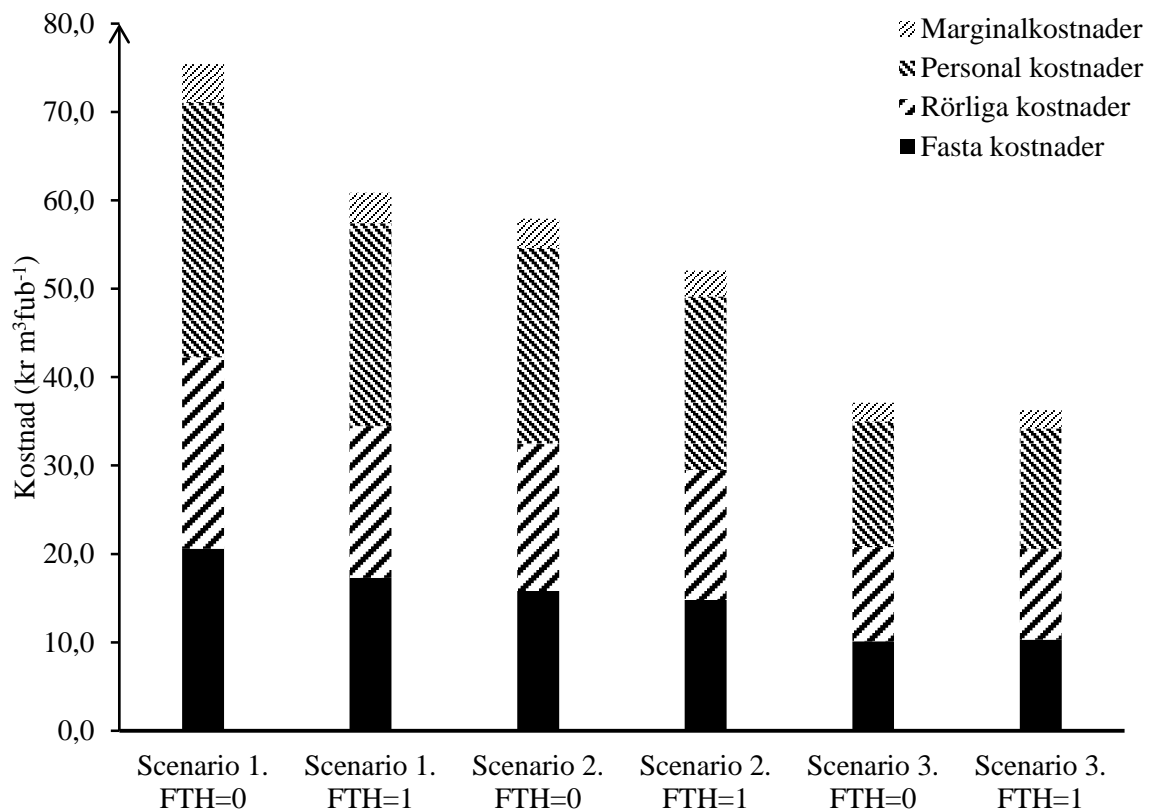
Tabell 8. Antal trakter och andel av de 4689 trakterna insorterade under kategorier (*Hög, Mellan, Låg*) för Holmen Skogs distrikt under perioden 2011-01-03 – 2012-10-31

*Table 8. Number of districts and share of the 4689 stands sorted in sub-categories (*Hög, Mellan, Låg*) of Holmen Skog districts during the period 2011-01-03 – 2012-10-31*

Distrikt	Kategori					
	<i>Hög</i>		<i>Mellan</i>		<i>Låg</i>	
	Antal trakter	Andel (%)	Antal trakter	Andel (%)	Antal trakter	Andel (%)
Björna	12	3,5	88	26,0	239	70,5
Bredbyn	18	3,9	140	30,5	301	65,6
Lycksele	21	8,1	123	47,5	115	44,4
Norsjö	27	10,0	112	41,6	130	48,3
Umeå	18	3,2	132	23,2	419	73,6
Sveg	14	6,3	73	32,9	135	60,8
Ljusdal	2	0,9	13	5,8	210	93,3
Delsbo	1	0,4	20	7,1	259	92,5
Hudiksvall	10	2,9	22	6,5	307	90,6
Bollnäs	1	0,8	4	3,2	120	96,0
Uppland	3	0,9	12	3,7	311	95,4
Västmanland	2	1,9	6	5,8	96	92,3
Örebro	-	0,0	3	2,0	146	98,0
Sörmland	1	0,3	2	0,6	316	99,1
Norrköping	1	0,4	2	0,9	226	98,7
Tranås	7	3,1	5	2,2	216	94,7
Vimmerby	2	1,2	7	4,1	160	94,7
Egenskog	-	0,0	-	0,0	79	100,0
<i>Totalsumma</i>	<i>140</i>	<i>-</i>	<i>764</i>	<i>-</i>	<i>3785</i>	<i>-</i>
<i>Medelvärde</i>	<i>-</i>	<i>0,86</i>	<i>-</i>	<i>1,95</i>	<i>-</i>	<i>84,69</i>

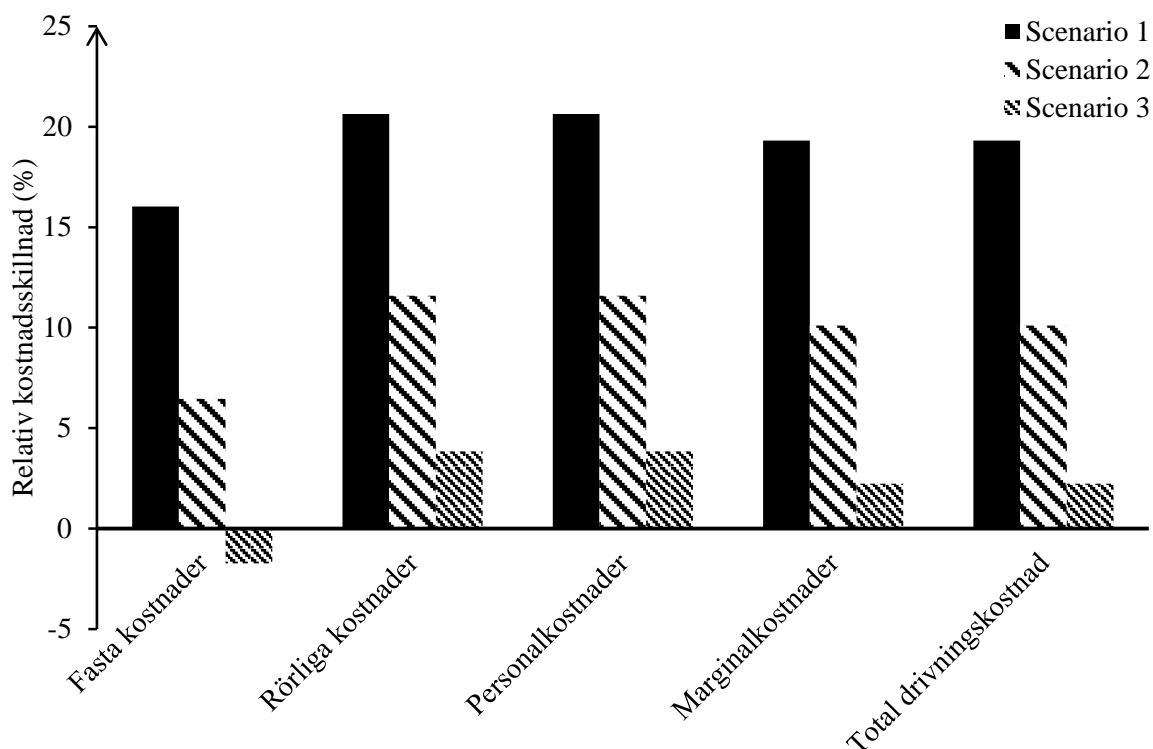
Kostnader

Maskinkostnadskalkylen presenteras med fyra olika kostnadsposter (kr m³fub⁻¹): *fasta kostnader*, *rörliga kostnader*, *personalkostnader* och *marginalkostnader* (Figur 6). Tillsammans utgör de den *totala drivningskostnaden* (kr m³fub⁻¹) med och utan flerträdshanterande utrustning (FTH=1, FTH=0) för respektive scenario. I Scenario 1 är differensen i den totala drivningskostnaden som störst (14,56 kr m³fub⁻¹) med och utan flerträdshanterande utrustning. Uttryckt procentuellt förändras respektive kostnadspost mellan 16 – 21 % (Figur 7). Den största differensen i drivningskostnad återfinns i *personalkostnader* (5,97 kr m³fub⁻¹) och i *rörliga kostnader* (4,47 kr m³fub⁻¹). Minst differens i drivningskostnad är det i de *fasta kostnaderna* (3,30 kr m³fub⁻¹) och i *marginalkostnaderna* (0,82 kr m³fub⁻¹). I Scenario 2 och 3 minskar skillnaden i kostnad per m³fub men kostnadsposternas storleksordning kvarstår. Den totala drivningskostnaden i Scenario 2 minskar med 5,85 kr m³fub⁻¹ där *personalkostnader* står för 2,57 kr m³fub⁻¹, *rörliga kostnader*: 1,93 kr m³fub⁻¹, *fasta kostnader*: 1,02 kr m³fub⁻¹ och *marginalkostnaderna*: 0,33 kr m³fub⁻¹. Procentuellt förändras kostnadsposterna mellan 6,45 – 11,58 %. I Scenario 3 ökar de *fasta kostnaderna* med flerträdshantering i slutavverkning med 0,18 kr m³fub⁻¹ eller 1,73 % vid en jämförelse. Skillnaderna i samtliga kostnadsposter per m³fub ligger under 0,55 kr m³fub⁻¹ och varierar mellan 2,23 – 3,85 % i procentuell förändring. Skillnaden i den totala drivningskostnaden hamnar på 0,83 kr m³fub⁻¹.



Figur 6. Fyra olika kostnadstyper (kr m³fub⁻¹) för skördarens arbete i tre scenarion, med eller utan flerträdshantering (FTH = 1, FTH = 0).

Figure 6. Four different types of costs (kr m³fub⁻¹) for the harvester work in three scenarios, with or without multi-stem harvesting (FTH = 1, FTH = 0).

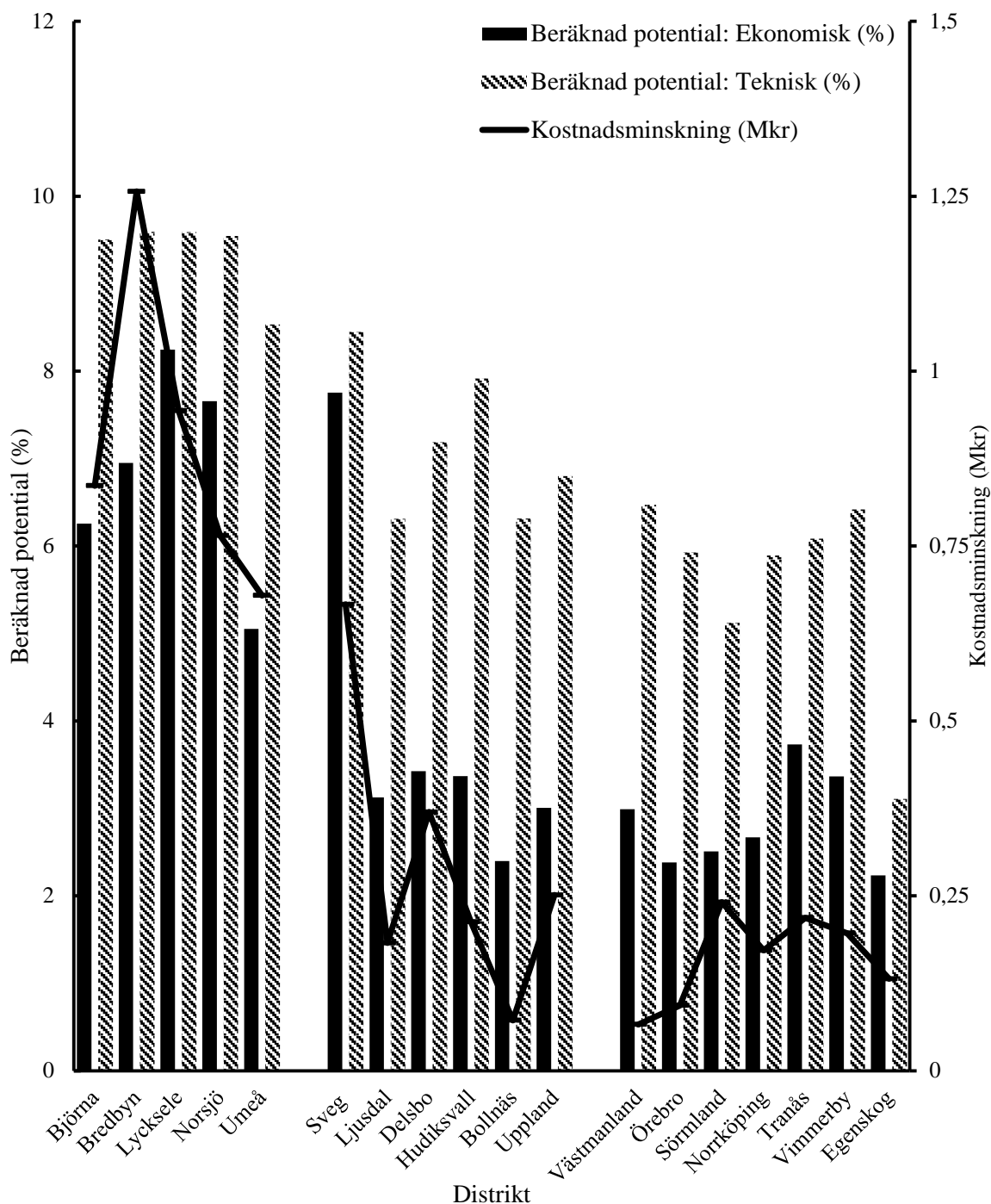


Figur 7. Den procentuella kostnadsskillnaden av fem kostnadsposter för skördarens arbete med och utan flerträdshantering för scenario 1 – 3. Postiva värden innebär en minskning av kostnaden.

Figure 7. The percentage cost difference of five types of cost for the harvester work with and without multi-tree handling for scenario: 1 – 3. Positive values means a reduction of the cost.

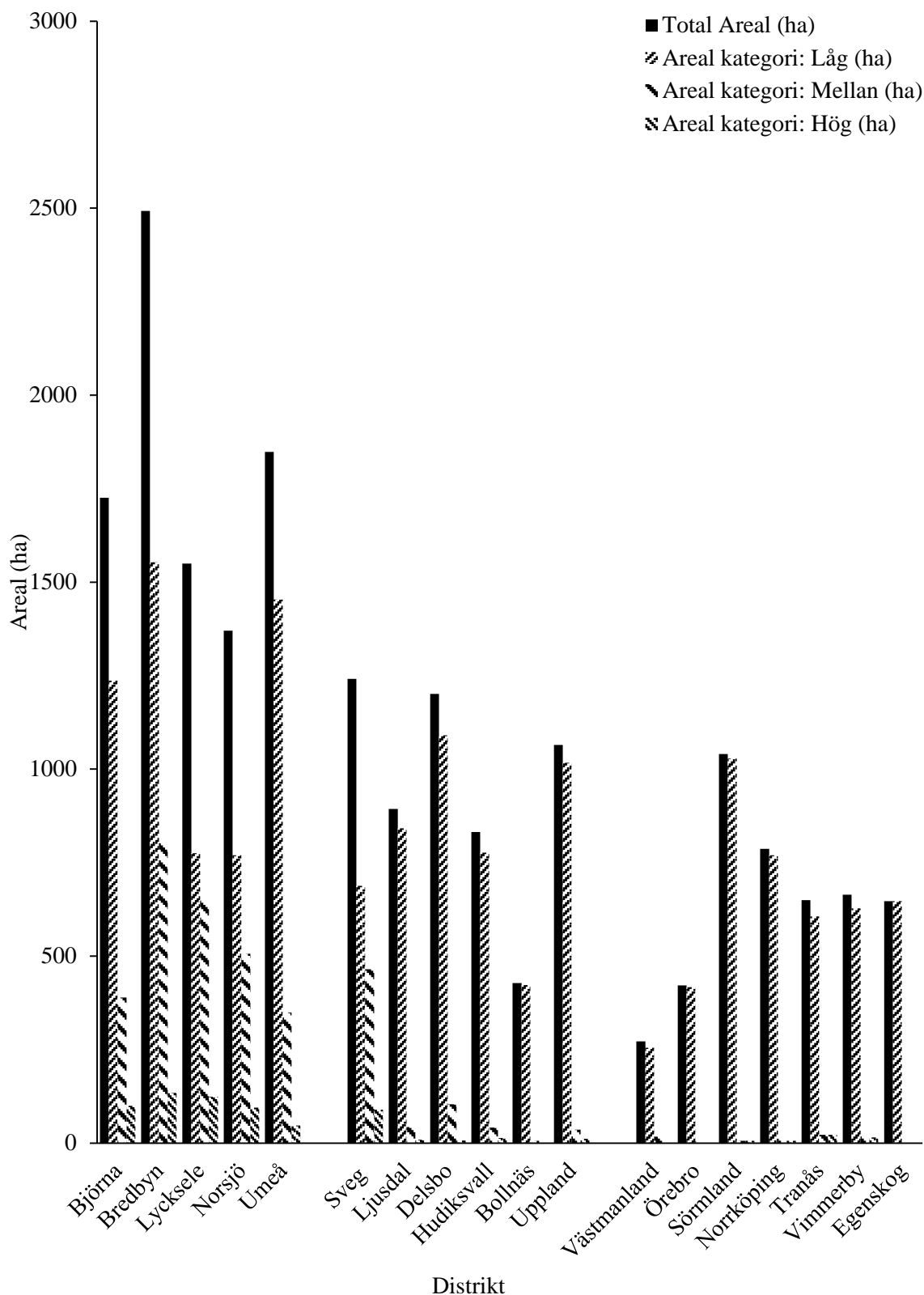
Potentialen

Störst potential med flerträdshantering i slutavverkning med avseende på ekonomi och teknik återfinns i de nordliga distrikten (Björna, Bredbyn, Lycksele, Norsjö, Umeå, Sveg) och är som allra störst i Lycksele distrikt (Figur 8). Drivningskostnaden för samtliga slutavverkningsskördare i Lycksele distrikt skulle sjunka med totalt 943 541 kr per år om flerträdshanterande utrustning monterades. I Bredbyns distrikt, där kostnadsminskningen är störst i kronor, skulle flerträdshantering i slutavverkning innebära sänkta drivningskostnader för samtliga slutavverkningsskördare på totalt ca 1 250 000 kr per år. Kostnadsminskningen i distrikt Björna, Lycksele, Norsjö, Umeå och Sveg varierar mellan 836 000 – 667 000 kr per år. Övriga distrikt i Holmen Skog understiger kostnadsminskningen 370 000 kr per år för samtliga slutavverkningsskördare i det enskilda distriktet. Distrikt i Holmen Skogs norra verksamhetsområde (Björna, Bredbyn, Lycksele, Norsjö, Sveg) har således en högre ekonomisk potential än övriga distrikt och varierar från 6,3 – 8,2 %. Kostnadsminskning för den totala avverkningsskostnaden i övriga distrikt understiger 5 %. Den tekniska potentialen är störst i Björna, Bredbyn, Lycksele och Norsjö distrikt (9,5 – 9,6 %). I övriga distrikt varierar den tekniska potentialen från 8,5 % i distrikt Umeå ner till 3,1 % i distrikt Egen skog med en gradient från nordliga till sydliga distrikt. Potentialen för ökad produktivitet är störst i Lycksele distrikt där andelen areal i kategori: *Hög* är 8 % (123 ha) (Figur 9). I de norra distrikten (Björna, Bredbyn, Lycksele, Norsjö, Umeå och Sveg) varierar denna andel mellan 5,4 – 8 % där Bredbyn har störst areal (134 ha). Övriga distrikt varierar mellan 3,4 % (22 ha) (Vimmerby) ner till 0 % (Egen skog).



Figur 8. Ekonomiska och tekniska potentialen i procent (%) för respektive distrikt i Holmen Skog. Kostnadsminskningen (Mkr) beskriver skillnaden i drivningskostnader (enbart skördare) med och utan flerträdshanterande utrustning för respektive distrikts alla slutavverkningsskördare under avverkningsåret (2011-06-01 – 2012-06-01).

Figure 8. The economic- and technological potential in percent (%) of each district in Holmen Skog. Cost reduction (M SEK) describes the difference in harvesting costs (only harvesters) with and without multi-tree handling for all clear-cutting harvesters for each district during 2011-06-01 – 2012-06-01.



Figur 9. Potential för ökad produktivitet uttryckt som arealen slutavverkning för varje distrikt indelad efter medelstamsvolymen i kategori: Hög, Mellan, Låg. Andelen av areal i de specifika kategorierna utgjorde grund för bedömning om potentialen var hög eller låg.

Figure 9. Potential for increased produktivitet expressed as area of final-felling for each district sorted by mean stem volume in category: High, Medium, Low. The proportion of area in specific categories formed the basis for the assessment of potential was high or low.

Diskussion

Huvudsyftet med denna studie var att ta reda på potentialen för flerträdshantering i slutavverkning på Holmen Skogs distrikt. Resultaten visade att den sammanlagda högsta ekonomiska-, tekniska- och produktivitetspotentialen finns i distrikten i Örnsköldsviks region och särskilt i Lycksele distrikt. Potentialen på Holmen Skogs distrikt visade på en gradient med högre ekonomisk-, teknisk- och produktivitetspotential i de norra distrikten till en lägre potential i sydligare distrikt (Figur 8, Figur 9).

Det första delsyftet med studien var att beskriva förutsättningarna för att kunna utnyttja flerträdshantering i slutavverkning. Resultaten av de statistiska analyserna (stamandelsberäkningen) visade att flerträdshantering används i medeltal mellan 71,0 – 9,7 % av fallen på träd med dbh mellan 4 – 12 cm (Tabell 6). Mellan 14 – 16 cm ligger andelen betydligt lägre, på 3,4 – 2,5 %. Över dbh 16 cm varierar andelen mycket lite (3,3 – 6,7 %) och har liten spridning av observationerna medan vid mindre diameterar är spridningen större (Figur 4). Beskrivningen av referensavverkningarna visade stor variation i stamtätheten (25 - 262 stammar per hektar) för de flerträdshanterade stammarna och gran utgör det dominerande flerträdshanterade trädslaget; i 10 av 13 fall med en andel på 34 – 76 % av trädslagsfördelningen (Bilaga 1).

Det andra delsyftet var att utföra en kostnadskalkyl och en produktivitetsskattning på flerträdshantering i slutavverkning inom Holmen Skog. Kostnadskalkylen visade att drivningskostnaden (kr per m³fub) för slutavverkningsskördare minskar med 19,3 % vid avverkad medelstamsvolym på 0,10 m³fub vid flerträdshantering (Figur 7). Ökar den avverkade medelstamsvolymen till 0,16 m³fub minskar drivningskostnaden för skördaren med 10,1 %. Den största avverkade medelstamsvolymen (0,27 m³fub) som undersöktes visade att drivningskostnaden minskade med enbart 2,23 %. Produktivitetsskattningen visade att störst andel trakter (10,0 %) med störst produktivitetsökning (26 %) fanns i Norsjö distrikt. Därefter kom Lycksele med en andel på 8,1 % och Sveg med 6,3 % (Tabell 8).

Potentialen

Potentialen med flerträdshantering i slutavverkning är som störst i de norra distrikten där den avverkade medelstamsvolymen är mindre än i de södra distrikten. Stamnotorna från distriktets slutavverkningar visade i ett tidigt skede att slutavverkningar i de norra distrikten hade en lägre medelstam, en lägre brösthöjdsdiameter och en högre stamtäthet än i de södra distrikten. Utifrån detta var förväntningarna att den tekniska potentialen skulle bli större i de nordliga distrikten. Stamandelsberäkningarna visade just detta och helt i enlighet vad tidigare studier visade (Gingras, 1999; 2002; 2004; Brunberg & Lundström, 2011, 2012a, 2012b) beträffande sambandet mellan storleken på medelstammen och andelen flerträdshanterade stammar. Det var dock förväntat att potentialen skulle vara något högre i de sydligare distrikten med tanke på större andelen granskog jämfört med de nordliga distrikten. Granens skuggtålighet gör att den kan bilda flerskiktade bestånd som skulle driva upp andelen klena stammar lämpliga för flerträdshantering (Lilleberg, 1994). Slutavverkning inom distrikt i Iggesunds och Norrköpings region uppvisar en större diameterspridning (Bilaga 2) vilket kan betyda att slutavverkade bestånd i dessa distrikt är mer olikåldrade, flerskiktade eller har en större trädslagsblandning. En kombination av

dess faktor indikerar på goda förutsättningar för flerträdshantering varför det finns anledning att tro att den tekniska potentialen i de sydliga distrikten underskattades.

Regressionsfunktionen som beskrev sambandet mellan diameterklasser och andelen flerträdshanterade träd (*AndF*) uppvisade en hög förklaringsgrad (R^2 -adj: 91,4 %) men skulle varit mer tillförlitlig med fler observationer i indata. Det låga antalet observationer ($n=87$) som regressionsanalysen baserades på, ökar risken för att slumpmässiga avvikelser i indata tolkas som faktiska avvikelser, så kallad överanpassning (Holm, 2012). Ett lämpligt indata hade bestått av över 1000 observationer geografiskt utspridda i landet för att undvika systematiska fel och se eventuella skillnader i utfall av metoden för olika landsdelar för att skapa en mer anpassad modell. Kravet med PRI-format utgjorde en stor begränsning av mängden indata på grund av den sena tidpunkten för införandet av formatet (sommaren 2012). Valfriheten för skördarföraren att rapportera om huggningsformen till PRINS lär ha minskat datamängden ytterligare. Av denna orsak lades konverteringssteget (s_i) till i metoden för att korrigera ett tvivelaktigt stamantal i PRINS till ett mer tillförlitligt stamantal i SPAR. 5-% spärren för andelen flerträdshanterade träd utgjorde ännu en begränsning i indata för att bortsortera trakter där flerträdshantering ej ansågs ha använts systematisk. Större indata kunde extraherats ifall en lägre procentsats antagits men hade resulterat i en större variation i medelberäkning samt en lägre förklaringsgrad i regressionsfunktionen. Stamandelsberäkningen gjordes på traktnivå vilket innebär att flera bestånd med samma behandlingsåtgärd (slutavverkning) avverkades men kan ha haft olika förutsättningar för flerträdshantering. Antalet stammar i diameterklasserna innefattar då stammar i bestånd med konventionell slutavverkning samt avverkningar med flerträdshantering. Sammanfattningsvis medför detta att andelen flerträdshanterade stammar av totala antalet stammar sjunker.

Skördarna skiljer sig i arbetskapacitet och storlek mellan olika modeller och märken vilket gör att storleken på träd som kan flerträdshanteras skiljer sig. Med en teknisk utveckling som leder till större maskiner som klarar av att hantera fler och större träd samtidigt finns därför anledning att tro att diametergränsen för flerträdshanteringen i framtiden kommer att öka och då även den tekniska potentialen. Det gör att den gräns som nu är satt (16 cm) utefter referensavverkningarnas flerträdshanterade andel (Figur 4) kan flyttas upp. Avverkas kientimmer i bestånd med låg medelstam skulle den tekniska potentialen antagligen bli lägre då kientimmer idag måste enträdshanteras, och färre stammar blir då tillgängliga för flerträdshantering. Dock kommer potentialen för flerträdshantering fortsättningsvis begränsas av lägsta diametergräns för timret såvida inte detta sortiment i framtiden kan komma att flerträdshanteras. En sådan vision skulle troligtvis kräva betydande kraftökning av motorer och hydraulik men innebära en betydligt större ökning av produktiviteten än vad dagens massavedsbegränsade flerträdshantering gör. Tillsammans med beröringsfri mätning i skördaraggregatet skulle denna vision kunna förverkligas.

Potential för ökad produktivitet blev som förväntat högre där den avverkade medelstamsvolymen var mindre (i nordliga distrikt) eftersom potentialen baserades på sambandet mellan ökad produktivitet och storlek på medelstamsvolymen (Tabell 2). En metod för förenkling av potentialberäkningen av produktiviteten kunde göras genom att väga andelen areal som inplacerats i varje kategori med den faktiska arealen. Den arealvägda andelen beskriver potentialen för ökning av produktivitet i varje distrikt (Bilaga 3). Vid ett stort värde (100 %) på potentialen återfinns en stor arealviktad andel (alla) trakterna i kategori *Hög*. Där finns även en stor (största) potential för ökad produktivitet

(26 %). I Figur 9 visas den arealfördelning (ha) för varje kategori som en arealvägd andel (I_d) kunde beräknades utifrån, enligt formel:

$$I_d = 1 - \left(\frac{a_h^2 + a_m^2 + a_l^2}{A_d^2} \right) * 100$$

Där I_d (potentialen) anger den arealvägda andelen (%) för ökning av produktivetet i distrikt d , a_h anger arealen (ha) i kategori *Hög*, a_m anger arealen (ha) i kategori *Mellan*, a_l anger arealen (ha) i kategori *Låg* och A_d anger total slutavverkad areal (ha) i distrikt d .

Den ekonomiska potentialen med flerträdshantering i slutavverkning blev som förväntat större i nordliga distrikt till följd av en mindre avverkad medelstamsvolym. En mindre avverkad medelstamsvolym (0,10 m³fub) innebär att en större andel av den totala volymen utgörs av flerträdshanterade stammar, än vad en större medelstamsvolym gör (0,27 m³fub). Detta får till följd att besparingen är som störst (per m³fub) vid en lägre medelstam (Figur 7). Uttryckt i kronor blev den största besparingen för samtliga slutavverknings-skördare i distrikt Bredbyn med drygt 1,3 miljoner kronor. Jämförs Bredbyns kostnadsminskning med drivningskostnaden utan flerträdshantering (7 %) ligger den kvoten under både Lycksele, Norsjö och Sveg distrikt som sparar en större andel av drivningskostnaden (8,2; 7,7; 7,8 %). Anledningen till detta är att Bredbyns distrikt slutavverkar störst volym (m³fub) inom Holmen Skog och har därför en högre total slutavverkningskostnad per år. En kostnadsjämförelse mellan Brunbergs (2012) uträkning och denna studie, visar att kostnadsminskningen skiljer sig mellan studierna med endast 30 000 kr vid en bestämd årsvolym (utan förändring av rörliga kostnader; service, drivmedel). Skillnad i kostnad mellan studierna bedöms ändå som liten för samma avverkningsvolym. Utöver den fasta kostnadsminskningen bör läggas till en minskad bränslekostnad (5 % av totalkostnaden per år) och den ökade servicekostnaden (14 000 kr per år) enligt Brunberg (2012). Avbetalningstiden för investeringen bedöms därför i linje med Brunberg (2012) vara relativt snabb (ca 6 månader) vid avverkning i bestånd med medelstam under 0,16 m³fub. Vid slutavverkningar med mindre medelstamsvolym bedöms avbetalningstiden minska ytterligare då ökningen av produktivitet blir större.

Skogliga förutsättningar

Flerträdshantering i slutavverkning har bättre förutsättningar ju större andel stammar av gran det förekommer upp till dbh 12 cm (Tabell 8) och har en övre diametergräns vid dbh 16 cm (Figur 4). Denna rekommendation är i linje med Brunberg & Lundströms (2012a) dbh-gräns på 13 cm för huvuddelen av antalet slutavverkade stammar men understiger Thelins (1990) rekommendationer på dbh 18 cm och Gingras (2002, 2004) rekommendationer dbh 20-25 cm. Förklaringar till denna skillnad är att diametergränsen kan påverkas av bland annat aggregatets prestanda, beståndets karaktäristika såsom skördad massavedsandel och diameterspridningen. Ökar andelen kläna stammar i beståndet, ökar möjligheterna för flerträdshantering (Brunberg, 2012). Stamtätheten mellan flerträdshanterade stammar i referensavverkningarna uppvisade stor variation, upp till 262 stammar ha⁻¹ i stamnotorna och 105 stammar ha⁻¹ i stamandelsberäkningen (Lycksele distrikt). Även dessa värden understiger Thelins (1990) rekommendationer på minst 300 stammar per hektar. Noteras bör att arealen för vilken stamtätheten beräknades var osäker och utgjorde endast en uppskattning av avverkningsplaneraren. Den stora variationen i

stamtäthet gör att metodens lämplighet således beror på trädens spatiala placering i beståndet. I luckiga bestånd bör därför metoden lämpa sig väl då de klenare stammarna förekommer tätt samlade i luckorna. I referensavverkningen med lägst flerträdshanterande stamtäthet (25 stammar ha⁻¹) stod stammarna troligtvis i denna typ av luckiga bestånd. Vid högre stamtäthet (262 stammar ha⁻¹) kan stammarna ha stått mer jämt spatialt fördelade i beståndet (max 6 m mellanrum) men fortfarande ha goda förutsättningar för flerträdshantering. Gemensamt för dessa teorier om stamtäthet är att för en effektiv flerträdshantering bör ej aggregat förflyttas alltför långt mellan stammarna därför bör de stå tätt samlade (Johansson & Gullberg, 2002).

Analyserna av referensavverkningarna visar att 10 av 13 avverkningar hade högst andel flerträdshanterade stammar av gran. Granens andel i trädslagsfördelningen varierade i dessa fall mellan 34 – 76 %. Ett rimligt antagande utifrån detta är att granens förmåga att växa undertryckt i täta grupper eller i slutna bestånd gör den lämplig att flerträdshanteras. Granens mottaglighet för röta och därigenom större andel i massasortimentet kan också vara en bidragande orsak. Tallens lämplighet kan antas vara högre där den växer olikåldrat (fröföryngring), tätslutet, eller i bestånd med stor trädslagsblandning. Dessa bestånd är dock troligtvis ganska ovanliga vid slutavverkningar och lämpar sig bättre för en utrensande andra/tredje gallring. Lövträd utgör, i samtliga referensavverkningar, en mycket liten andel av de flerträdshanterade stammarna. Det är i linje med vad Lilleberg (1994) visar, där stamkrokigheten var den mest påverkande faktorn.

Stamandelsberäkningen beräknades utifrån antagandet om att distriktens framtida slutavverkningar har samma karaktär som de historiska, ett år tillbaka (2011-06-01 – 2012-06-01). I ett längre perspektiv kan detta antagande bli felaktigt med en förändrad skogsskötsel. En utveckling av dagens skogsbruk med kortare omloppstider skulle till exempel innebära: bättre plantmaterial, fler gallringar och lägre slutavverkningssålder för att på kortare tid erhålla sortiment med fokus på kvalite och dimension, exempelvis timmer. En således stor medelstamsvolym med liten diameterspridning gör det svårt att se en utbredd användning av flerträdshanteringen vid tidpunkten för slutavverkning. För äldre, eftersatta och oskötta bestånd eller där framställning av cellulosafiber (biomassaproduktion) är det huvudsakliga målet, är utsikterna mycket goda för flerträdshantering i slutavverkning. I dessa bestånd står stammarna tätt, med liten medelstamsvolym och hög diameterspridning vilket medför att massaveden utgör huvuddelen av sortimentetsutfallet. Flerträdshanteringen är ett effektivt hjälpmedel för att öka produktiviteten i denna typ av slutavverkningar och bör därför användas i högre utsträckning än vad det gör idag.

Rekommendationer

Utifrån de resultat som framkommit i denna studie har Holmen Skog ekonomiskt underlag för att flerträdsutrusta samtliga 50 slutavverkningsskördare i hela Örnsköldsviks region samt Svegs distrikt där potentialen för flerträdshantering är som störst. Att utrusta samtliga skördare i dessa distrikt innebär genomsnittliga besparingar per skördare mellan 95 000 – 139 000 kr per år förutom i Umeå distrikt där besparing är 61 000 kr per år. Det underlaget torde vara nog, för att på säkra grunder rekommendera maskinlagen att genomföra investeringen med en avbetalningstid mellan ett halvår och ett år. En bättre operativ planering utefter beståndens förutsättningar för flerträdshantering gör att skördarna kan bli

mer specialiserade och då kan investeringen endast genomföras på de skördare som arbetar under rätt förutsättningar året runt. Utökningen av flerträdshanterande aggregat i övriga distrikt i Iggesund och Norrköpings region bör betänkas ytterligare. Faktorer som sortimentsfördelning, flerskiktade bestånd, oskötta skogar etc. är inte beaktade i denna studie men kan ändå bidra till en hög potential för flerträdshantering och bör därför undersökas mer ingående. Denna studie ger ändå en bra indikation på var potentialen finns, utifrån andelen klena stammar, medelstam och tidigare gjorda studier. Flerträdshanterande utrustning är en investering med god avkastning som i rätt bestånd ger en betydande sänkning av drivningskostnaden för skördaren.

Nya studier

Potentialen för flerträdshantering i slutavverkning beräknades, i denna studie, utifrån hur diameterspridningen i 13 referensavverkningar var jämfört med diameterspridningen och medelstammen i varje enskilt distrikt. Fler studier bör göras med större datamaterial och fler beskrivande variabler för en kartläggning av potentialen med högre upplösning. PRINS är ett kraftfullt hjälpmedel för produktionsuppföljning och ger stora möjligheter att utifrån historiska data och erfarenheter prognosticera utfall. En större detaljupplösning på stamnotan kan möjliggöra regressioner för åtminstone tre förklarande variabler till, utöver variablerna använda i denna studie, exempelvis: trädslagsfördelning, sortimentsfördelning och maskintyper. Fler och mer detaljerade ekonomiska analyser av effekterna med flerträdshantering i slutavverkning bör även utföras. Inverkan på de rörliga kostnaderna utifrån bränslebesparing och servicekostnader bör tas i beaktande för ett mer verklighetsförankrat resultat. Det vore även intressant att undersöka om flerträdshantering har någon inverkan på sortimentsutfallet. Där effektiv flerträdshantering kan genomföras är det troligt att en viss andel timmer hamnar i massavedsortimentet för att eftersträva vinsterna i produktivitet som flerträdshanteringen medför.

Slutsatser

Flerträdshantering i slutavverkning:

- har största sammanlagd potential i Örnsköldsviks region och särskilt Lycksele distrikt där besparingen uppgår till 8,3 % per år för samtliga slutavverkningsskördare. Den sammanvägda potentialen och den årliga besparingen minskar med en nord-sydlig gradient från maximalt 1,2 miljoner kr per år i Bredbyns distrikt ner till 66 000 kr per år i Västmanlands distrikt.
- har bättre förutsättningar ju större andel stammar av gran upp till dbh 12 cm det finns. Den spatiala placeringen av stammarna i beståndet spelar en avgörande roll eftersom tätheten mellan de flerträdshanterande stammarna kan variera kraftigt.
- kan i bestånd med medelstam på 0,16 m³fub och rätt förutsättningar (se ovan) minska drivningskostnaden (kr m³fub) med ca 10 % för en slutavverkningsskördare och öka produktiviteten (m³fub timme⁻¹) med ca 14 %.

Referenslista

- Bergqvist, I. 2003. Flerträdshantering höjer prestationen och ökar nettot i klen gallring. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 5.
- Bergqvist, I. 2007. Flerträdshantering i granbestånd. Skogforsk, Uppsala, Arbetsrapport nr 637.
- Brunberg, B. 1989. Flerträdshantering sänker drivningskostnaderna för det klena virket. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kista. Meddelande nr 10, s. 20-21.
- Brunberg, B. Hedenberg, Ö., Jonsson T., 1990. Multitree technology: its impact on logging costs and pulpmill raw materials. Redogörelse - Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kista. nr 4.
- Brunberg, T. Thor M., 2010. Produktivitet i gallring och slutavverkning 2008-2009. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 10.
- Brunberg, T. 2010. Prestationsökningen vid flerträdshantering i gallring. Skogforsk, Uppsala. Stencil.
- Brunberg, T. Lundström, H., 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470 D hos SCA Skog hösten. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 737.
- Brunberg, T. Lundström H., 2012a. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1170 E hos Holmen Skog. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 765.
- Brunberg, T. Lundström H., 2012b. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1270 E hos SCA Skog hösten 2012. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 774.
- Brunberg, T. 2012 Flerträdshantering i slutavverkning ökar prestationen. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr.13.
- Gingras, J.-F. 1999. Evaluation of the timberjack 745 single-grip head with multi-stem capability. Journal of Forest Engineering (FERIC). Pointe-Clarie, Que. Tech.Note TN-291. 4pp.
- Gingras, J.-F. 2002. Evaluation of the Waratah HTH-470HD mult-stem harvester head. Journal of Forest Engineering (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Advantage Rep. 3(3). 4pp.
- Gingras, J.-F. 2004. Early studies of multi-tree handling in Eastern Canada. International Journal of Forest Engineering 15(2): 18–22.
- Forest Energy. EU – Projekt, [online] Tillgänglig: <http://www.forestenergy.org/pages/wg3> [2012-10-10]
- Holm, S. 2012. Hur stort PRESS-värde kan man acceptera? Stencil.
- Holmen, 2012. [online] Tillgänglig: <http://www.holmen.com/sv/Om-Holmen/> [2012-09-06]

Iwarsson W, M. Belbo H., 2009. Flerträdshantering och matarhjul ger effektiv avverkning i klen skog. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 14.

Johansson, J. Gullberg, T., 2002. Multiple Tree Handling in the Selective Felling and Bunching of Small Trees in Dense Stands, International Journal of Forest Engineering, Vol. 13(2): pp-25-34.

Lilleberg, R. 1994. A multi-tree harvester in final cuttings in northern Finland. Metsäteho Katsaus 1994/0002. Helsinki, Finland.

SDC – PRINS. 2012. [online] Tillgänglig:
http://www.sdc.se/admin/PDF/PRINS_webb.pdf [2012-09-10]

Skogsstyrelsen. 2011. Skogsstatistik årsbok 2011 – Sveriges officiella statistik. Jönköping: Skogsstyrelsen. 386 s.

Skogsindustrierna. 2012. [online] Tillgänglig:
<http://skogsindustrierna.se/branschen/branschfakta> [2012-09-07]

Thelin, A. 1990.- Flerträdshantering med Valmet 892/955 i slutavverkning – studie hos SCA Skog AB. Skogsarbeten. Stencil.

Personlig kommunikation:

Johansson, Robert. Produktionstekniker Holmen Skog. Örnsköldsvik. Intervju 2012-09-15

Nyberg, Torbjörn. Metodinstruktör Skogforsk. Nordmaling. Intervju 2012-09-10

Ohlsson, Maria. Verksamhetsutvecklare: Drivning och skogsbränsle Holmen skog. Örnsköldsvik. Intervju 2012-09-15

Sandberg, Anders. Säljare John Deere. Umeå. Telefonintervju 2012-09-06

Bilagor

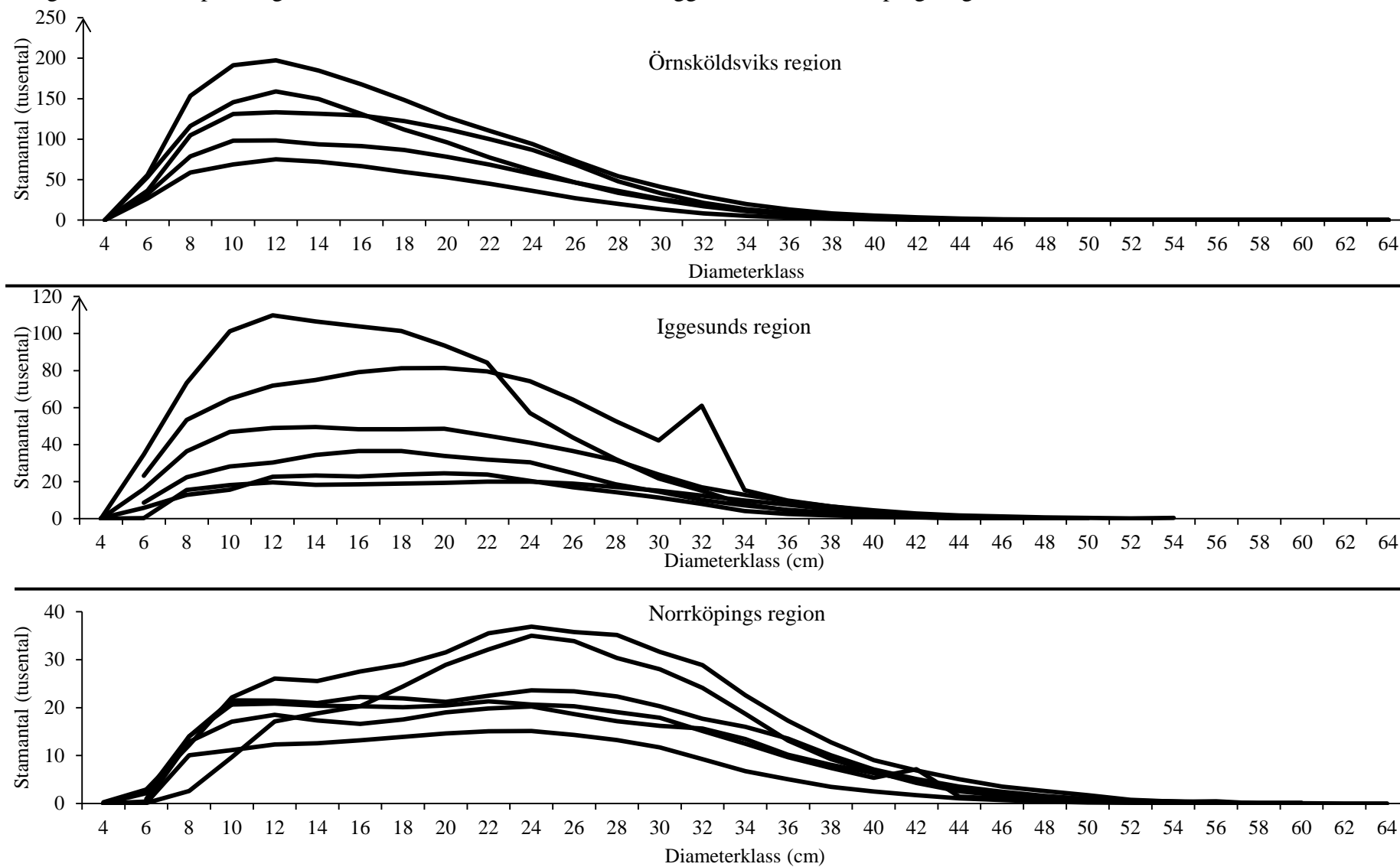
Bilaga 1. Beskrivning av referensavverkningar.

	Trakt 1.								Trakt 2.								Trakt 3.								Trakt 4.							
Trsl	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal (ha)	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal (ha)	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal (ha)	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal (ha)
Andel	59%		34%		7%		100%	-	77%		6%		17%		100%	-	20%		68%		13%		100%	-	6%		67%		27%		100%	-
Mstam	0,25		0,09		0,09		0,20	-	0,09		0,06		0,08		0,09	-	0,47		0,33		0,17		0,36	-	0,35		0,17		0,17		0,23	-
AndF	2,9%		11,1%		0,5%		14,5%	-	24,7%		0,8%		1,9%		27,4%	-	0,3%		5,2%		0,7%		6,1%	-	0,1%		16,4%		3,3%		19,8%	-
St/ha	292	15	121	58	35	3	525	17,9	306	144	29	5	88	11	584	1,7	158	2	506	42	96	6	810	9,3	77	2	674	217	311	44	1325	3,5
D (cm)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	-	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)
4	26	20	15	72	0	2	135	19	6	16	0	0	12	2	36	3	9	0	21	12	0	0	42	15	1		111	72	11	11	206	36
6	141	61	103	229	20	16	570	83	20	86	4	4	27	6	147	13	26	2	99	75	22	8	232	75	2	2	169	224	61	42	500	87
8	360	77	274	341	95	20	1167	173	40	52	11	0	39	2	144	13	33	9	244	157	59	26	528	166	1	4	237	234	101	45	622	108
10	348	94	292	201	133	2	1070	165	82	59	9	0	20	7	177	16	19	6	328	120	88	14	575	176	4		230	182	133	45	594	103
12	450	16	339	143	110	5	1063	168	107	12	11	2	17		149	13	38	2	350	24	111	4	529	161	11		226	40	160	10	447	78
14	505	4	340	47	98		994	169	95	8	5	0	14		122	11	50		358	2	130	2	542	164	11		220	8	131		370	65
16	580		296	8	49		933	174	68	4	6	0	8		86	8	68		357		125		550	170	19		201		120		340	62
18	566		195	2	50		813	161	40	3	3	2	6		54	5	100		367		107		574	185	28		168		92		288	54
20	612		118	2	30		762	164	34	3	1	0	3	2	43	4	143		363		98		604	202	35		164		75		274	53
22	574		90	2	19		685	151	18	2	0	0	4		24	2	197		430		69		696	245	38		160		66		264	52
24	442		50		14		506	114	10						10	1	164		412		30		606	217	27		125		39		191	38
26	301		22		3		326	76	1						1	0	142		307		34		483	173	26		93		24		143	29
28	179		16		2		197	45									118		292		10			153	19		56		21			20
30	82		9		6		97	21									122		210		6			127	14		52		18			17
32	38		4		2		44	10									97		181		5			106	13		44		12			14
34	17		3				20	4									56		125					67	8		39		5			10
36	2		2				4	1									35		123					57	4		25		8			7
38	2		2				4	1									22		49					26	4		18		6			6
40			1				1	0									16		36					19	3		11		4			4
42																	7		31					13	1		2		1			1
44																	5		12					6			2		1			1
46																	2		9					4			4					1
48																			2					1			1					0
Totalt	5225	272	2171	1047	631	45	9391	1701	521	245	50	8	150	19	993	90	1469	19	4706	390	894	54	7532	2527	269	6	2359	760	1089	153	4636	845

	Trakt 5.								Trakt 6.								Trakt 7.								Trakt 8.							
Trsl	Tall		Gran		Lövs		Totalt	Areal (ha)	Tall		Gran		Lövs		Totalt	Areal	Tall		Gran		Lövs		Totalt	Areal	Tall		Gran		Lövs		Totalt	Areal
Andel	96%		4%		0%		100%	-	5%		76%		20%		100%	-	24%		65%		11%		100%	-	10%		73%		17%		100%	-
Mstam	0,27		0,10		0,59		0,23	-	0,27		0,13		0,17		0,23	-	0,47		0,13		0,17		0,26	-	0,29		0,17		0,11		0,18	-
AndF	12,6%		1,2%		0,0%		13,8%	-	0,0%		10,7%		1,1%		11,7%	-	0,3%		11,9%		0,7%		12,9%	-	0,5%		7,5%		1,5%		9,5%	-
St/ha	294	44	9	4	0	0	351	6,7	10	0	139	23	40	2	215	5,2	145	2	329	73	63	4	617	20	130	6	870	100	203	20	1329	16
D (cm)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)
4	60	104	16	10			190	47	14		58	11	13		96	15	100	8	289	180	53	10	640	123			3	5			8	1
6	37	88	7	4			136	35	3		58	37	22	4	124	18	64	8	451	458	60	23	1064	168	42	11	291	118	78	23	563	94
8	58	57	8	13			136	33	2		49	30	13	4	98	14	49	10	540	424	103	32	1158	178	86	26	1342	569	542	125	2690	420
10	59	36	4	2			101	26	2		81	18	22		123	17	48	6	740	307	156	19	1276	193	133	37	1602	469	630	106	2977	471
12	66	10	4				80	21			70	21	17	4	112	16	56	2	877	84	177	4	1200	185	118	12	1650	271	564	49	2664	422
14	102	2	3				107	29			66	2	22		90	13	84		864	12	150		1110	180	146	8	1665	100	380	10	2309	379
16	113		1				114	31	1		58		19		78	11	108		743		135		986	172	210		1502	37	299	3	2051	348
18	170		1				171	46	5		61		28		94	14	162		582		116		860	172	242	3	1445	13	195		1898	333
20	201		4				205	55	2		65		25		92	13	239		458	2	90		789	188	237		1120	6	159		1522	272
22	240		0				240	65	5		51		11		67	10	346		374		72		792	224	201		931	2	126		1260	226
24	242		3				245	66	3		37		7		47	7	346		250		49		645	203	157		768	4	88		1017	183
26	184		4				188	50	3		32		7		42	6	295		140		33		468	162	156		574	3	92		825	151
28	136		3				139	37	5		16		3		24	4	253		86		15		354	132	123		412	2	40		577	109
30	117		0				117	32	1		8				9	1	276		74		21		371	143	90		291	3	21		405	77
32	91		1		1		93	25			7				7	1	202		46		11		259	103	55		145		11		211	41
34	59		0				59	16	2		4				6	1	137		32		10		179	70	38		95		11	4	148	28
36	18		0				18	5	2		3				5	1	76		16		2		94	38	34		61	2	4		99	20
38	7						8	2			1				1	0	29		7		4		40	15	8		17		1		26	5
40	5						5	1							0	0	19		10		1		30	10	2		0		0		2	1
42	2						2	1	1						1	0	7		1		1		9	4	1		2		0		5	1
44																	1		2		0				1		5		1			
Totalt	1967	297	60	29	1	0	2354	626	51	0	725	119	209	12	1116	163	2899	34	6582	1467	1260	88	12330	2663	2080	97	13921	1604	3242	320	21264	3584

	Trakt 9.								Trakt 10.						Trakt 11.						Trakt 12.						Trakt 13.														
Trsl	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal	Tall		Gran		Löv		Totalt	Areal	
Andel	9%		61%		30%		100%	-	42%		37%		21%		100%	-	11%		44%		44%		100%	-	27%		59%		14%		100%	-	92%		4%		4%		100%	-	
Msta m	0,19		0,08		0,07		0,10	-	0,23		0,12		0,09		0,16	-	0,29		0,12		0,10		0,13	-	0,14		0,09		0,10		0,11	-	0,21		0,14		0,08		0,20	-	
AndF	0,7%		21,0%		6,2%		28,0 %	-	3,0%		7,6%		2,2%		12,9 %	-	0,8%		10,1%		8,6%		19,5 %	-	4,8%		20,7%		1,3%		26,9 %	-	23,4%		1,1%		1,9%		26,4 %	-	
St/ha	90	8	452	236	266	70	1123	19	285	22	213	55	133	16	724	10	150	1	490	14	514	12	4	1435	5,2	45	10	77	42	24	3	200	5,2	106	36	4	2	3	3	154	5,2
D (cm)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	En	Fl	En	Fl	En	Fl	Totalt	Vol (m3fub)	
4	3	2	120	283	89	101	598	45	4	15	1	3	19	4	46	7	1	6		17	3	7	34	5		5		2	4	2	13	1	5	26				2	33	7	
6	22	43	786	152 7	433	366	3177	243	62	53	62	67	135	26	405	56	11	8	68	16 3	57	10 2	409	49	3	1 2	8	64	9	2	98	10	9	48	2		1	2	62	12	
8	54	50	118 7	150 9	866	390	4056	311	118	75	266	27 4	235	78	1046	137	23	3	398	28 0	258	22 8	1200	140	23	1 9	55	57	17	6	177	18	18	57	2	7	5	7	96	18	
10	84	30	126 3	706	976	281	3340	258	186	63	377	15 9	271	38	1094	149	49	5	518	21 4	365	21 9	1380	165	33	1 2	76	73	23	4	221	22	27	27	4		3	2	63	12	
12	143	17	125 9	267	853	93	2632	212	227	6	339	35	271	11	889	124	80	1 6	421	59	530	66	1172	145	43	2	77	18	27		167	18	57	25	2	2	3		89	18	
14	222	8	117 3	82	659	43	2187	187	312	7	295	14	157	3	788	125	79		294	14	488	18	893	110	26		60	2	16		104	11	60	4	1		1	2	68	14	
16	260	2	848	24	485	20	1639	151	323		218		103		644	110	77		212	7	328		624	81	20		34		11		65	7	84		1		1		86	18	
18	236		662	31	241	6	1176	114	286		163		55		504	90	62		177		197	4	440	59	21		34		9		64	7	63		2		1		66	14	
20	243		448	20	173	10	894	94	291		123		42		456	85	73		128		157		358	52	16		19		4		39	4	58		2				60	12	
22	169		340	6	111	6	632	66	250		94		23		367	71	66		105		131		302	45	14		12		6		32	4	53		1		1		55	11	
24	142		239	6	75	10	472	51	245		67		8		320	65	39		70		67		176	26	10		11		1		22	2	54		3		1		58	12	
26	64		110	10	40	4	228	24	199		44		6		249	52	63		62		39		164	30	9		5				14	2	34						34	7	
28	47		76	2	25		150	16	134		32		2		168	35	58		26		31		115	23	10		2				12	2	13						13	3	
30	16		38	6	8	3	71	7	95		18		1		114	24	33		25		9		67	13	2		5				7	1	8						8	2	
32	8		29	2	6		45	4	69		14		1		84	18	14		19		5		38	7	1		2				3	0	5						5	1	
34	4		12		3		19	2	28		6				34	7	22		18		3		43	9	2						2	0	1						1	0	
36	1		4		5		10	1	16		5				21	4	15		7		2		24	5	1						1	0	1						1	0	
38			2		1		3	0	5		2		1		8	1	6		1				7	2							0	0							0	0	
40			1		0		1	0			3				3	0	7				1		8	2							0	0	2						2	0	
42							0	0			2				2	0	2						2	1							0	0							0	0	
44																																									
46																																									
48																																									
50																																									
52																																									
54																																									
56																																									
Totalt	1718	152	8597	4481	5049	1333	21330	1787	2850	219	2131	552	1331	160	7243	1162	780	58	2550	754	2675	644	7461	971	234	50	400	216	127	14	1041	109	552	187	209	175	800	162			

Bilaga 2. Diameterspridningskurvor för distrikten i Örnsköldsviks, Iggesunds och Norrköpings region



Bilaga 3. Den arealvägda andelen av slutavverkningsarealen

